



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza**

## **Proyecto Fin de Carrera**

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL USO DE LOS COMBUSTIBLES  
DERIVADOS DEL PETRÓLEO Y ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL  
MODELO DE INTERCAMBIO DE BATERÍAS PARA EL  
VEHÍCULO ELÉCTRICO.**

Autor:

**Jorge Medrano Montes**

Director del proyecto:

**Antonio Serrano Nicolás**

Ingeniería Técnica Mecánica  
Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
Junio 2014

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

***Agradecimientos: Agradezco a mis padres y mi hermano por el apoyo prestado todos estos años, al ingeniero industrial D. Diego Alonso Pellón y al Licenciado en Administración de Empresas D. Daniel López Arbués por el apoyo prestado a la realización de este proyecto y a Romina, sin la cual nada de esto habría sido posible. A todos, gracias.***

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

**Resumen:** en la actualidad el consumo de combustibles de origen fósil supone uno de los mayores problemas para el ser humano en todos los ámbitos, tanto a nivel económico como medioambiental o de salud pública.

El objeto de presente proyecto es en primer lugar el análisis de los efectos y consecuencias que el masivo uso de los combustibles fósiles en nuestra sociedad genera, preferentemente su uso para el transporte. Primero se analizará la producción del petróleo, la evolución de la misma y las expectativas de la misma en los próximos años a la vez que se observará la evolución del precio de forma paralela. Se observará como es posible que se haya alcanzado el pico petrolero estimado, el punto a partir del cual la producción de petróleo únicamente decrecerá al ir paulatinamente agotando las reservas.

Por otro lado, otro de los problemas generados por el consumo masivo de productos derivados del petróleo es la alta dependencia que los países no productores, particularmente los países desarrollados, generan. Debido a ello los países productores obtienen unos réditos políticos muy importantes al controlar la principal fuente energética de la economía de un país.

Además, particularmente en los últimos años han cobrado fuerza las consecuencias medioambientales y de salud pública, particularmente en el ámbito urbano, donde la concentración de contaminantes atmosféricos provenientes del tráfico es elevada.

Se observarán también las alternativas que existen al consumo masivo de combustibles de origen fósil para el transporte, sus principales ventajas e inconvenientes.

Por último, se estudiará la viabilidad económica de una instalación para el intercambio de baterías y el impacto económico que supondría la adopción de este método como fuente de recarga para el vehículo eléctrico. Se analizarán los resultados obtenidos en cada una de las diferentes partes.

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

# ***Índice***

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## Memoria técnica.

<b>1. Introducción.</b>	3
1.1. Definición del proyecto.	3
1.2. Objetivos del proyecto.	4
<b>2. Los problemas asociados al consumo de combustibles fósiles.</b>	5
2.1. Introducción.	5
2.2. Los problemas de tipo económico derivados de la producción. El PeakOil.	7
2.3. Incidencias del uso de combustibles fósiles en la salud humana y el medio ambiente.	18
2.3.1. Principales agentes constituyentes de las emisiones vehiculares en Europa y España.	18
2.3.3. La contaminación atmosférica en España debida al sector del transporte por carretera.	36
2.3.4. Efectos de las emisiones sobre la salud humana.	42
2.4. Los factores geopolíticos en el mercado petrolífero.	43
2.5. La producción eléctrica en España.	53
2.5.1. Demanda final de energía en España.	53
2.5.2. Demanda primaria de energía en España.	55
2.5.3. Déficit y autoabastecimiento.	56
2.5.4. El sector de la energía eléctrica.	58
2.5.4.1. Demanda eléctrica.	58
2.5.4.2. Producción eléctrica.	59
2.5.4.3. Emisiones del sistema de producción eléctrica en España.	63
2.6. Conclusiones.	66
<b>3. Alternativas actuales y en un futuro inmediato a los vehículos con motor de combustión.</b>	69
3.1. Introducción.	69
3.2.1 Vehículos híbridos eléctricos.	70
3.2.2 Vehículos híbridos mecánicos.	73
3.2.3 Vehículos híbridos neumáticos.	76
3.3. Vehículos que usan combustibles de origen vegetal.	77
3.4. Vehículos eléctricos.	79
3.4.1. El vehículo eléctrico mediante pila de combustible.	80
3.4.2. Vehículos eléctricos por almacenamiento de energía eléctrica en baterías.	84
3.5. Conclusiones.	86
<b>4. Estimación de costes de la implantación de la alternativa eléctrica por acumulación.</b>	91
4.1. Costes asociados a la fabricación de l vehículo eléctrico. El vehículo.	91
4.2. Estimación de costes asociados a la fabricación de un vehículo eléctrico. Las baterías.	99
4.2.1. La química de las baterías.	99
4.2.2. Arquitectura y manufactura de las baterías para vehículos eléctricos.	103
4.2.3. El precio de la batería.	106
4.2.3.1. Nissan.	106
4.2.3.2. Renault.	108
4.2.3.3. Tesla Motors.	109
4.2.3.4. Cuadro resumen.	110
4.3. Estimación del coste de uso del vehículo eléctrico. Comparación con vehículos térmicos similares.	111
4.3.1. Características técnicas.	112



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

4.3.2. Estimación de gastos de mantenimiento. ....	113
4.3.3. Estimación costes operativos. ....	115
4.3.4. Estimación coste de adquisición .....	117
4.3.5. Estimación total de gastos de la alternativa eléctrica.....	118
4.4. Conclusiones. ....	121
<b>5. Formas de recarga. Propuesta y estudio de modelo comercial para la recarga de vehículos eléctricos.....</b>	<b>123</b>
5.1. La recarga de la batería del vehículo eléctrico. Modos, tipos y sistemas de recarga actuales....	123
5.2. El intercambio de baterías. Concepto y antecedentes. ....	130
5.2.1. El concepto.....	130
5.2.2. Antecedentes. ....	131
5.3. Propuesta de estudio de viabilidad económica del modelo de intercambio de baterías en régimen de alquiler.....	135
5.3.1. El modelo escogido. Consideraciones previas.....	135
5.3.2. Estimación de inversiones y gastos requeridos para la puesta en marcha y operación de la instalación de intercambio de baterías. ....	139
5.3.3. Estimación de ingresos de la estación de intercambio de baterías.....	145
5.3.4. Cuenta de resultados. ....	146
5.4. Impacto sobre los posibles usuarios del servicio. ....	147
5.4.1. Análisis comparativo del coste para los usuarios de la recarga por intercambio de baterías. .	148
5.4.1. Usuarios potenciales. Capacidad máxima del servicio. ....	147
5.5. Conclusiones. ....	152
<b>6. Conclusiones generales. ....</b>	<b>155</b>
<b>7. Bibliografía. ....</b>	<b>157</b>
<b>Anexo1. Estimación de los costes de recarga de las baterías. ....</b>	<b>160</b>

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

# ***MEMORIA TÉCNICA***

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## 1. Introducción.

### 1.1. Definición del proyecto.

Los problemas del uso de combustibles fósiles son varios y variados, fundamentalmente podemos dividirlos en tres categorías diferentes: económicos, ambientales y políticos. De todos ellos hablaremos con más detalle en un capítulo dedicado a ello dada la importancia de la cuestión petrolífera y puede resumirse de la siguiente forma: la actual producción petrolífera ha alcanzado, probablemente, su cénit a lo largo de la década anterior y por tanto a grosso modo podemos imaginar un ascenso paulatino del precio del crudo a medida que la disponibilidad de este va a ser menor incluso no teniendo en cuenta un aumento en su demanda, lo que necesariamente tendrá efectos importantes en la economía por su importancia sobre esta, lo que unido a la larga recesión actual puede tener consecuencias imprevisibles. Por otro lado está el conocido problema ambiental que supone la combustión anual de millones de toneladas de combustibles fósiles y de la emisión de los productos de desecho de dicha combustión en forma de gases entre los que se encuentra el por todos conocido dióxido de carbono, uno de los principales agentes causantes del efecto invernadero, cuyos elevados niveles atmosféricos son principalmente debidos a la actividad humana. En ocasiones pasa desapercibida la última categoría de las antes mencionadas, la política, pero hemos de ser conscientes que aunque a nivel político el planeta ha conocido épocas más tormentosas, en los últimos años coexisten ciertos enfrentamientos se puede decir que enquistados (Medio Oriente) o se han creado algunos nuevos (revoluciones en el norte de África) que junto a la crisis económica de escala internacional puede desencadenar conflictos entre diversos países y en este caso Occidente, órbita política a la cual pertenecemos en España, es sumamente dependiente del petróleo, por lo que éste podría ser utilizado como herramienta política y de chantaje.

Por lo reseñado los cambios de diversa índole a tener en cuenta en un escenario global donde la producción de petróleo va a decaer forzosamente son importantes y en materia de transporte especialmente dado que la práctica totalidad de la flota de transporte a nivel mundial se mueve merced a combustibles fósiles, de forma que no es descabellado comenzar a plantearse hipótesis alternativas al transporte basado en hidrocarburos. En los últimos tiempos ha adquirido particular notoriedad, abriéndose paso en un mercado tan competitivo como el del automóvil el vehículo eléctrico mediante baterías, hasta el punto que a partir de 2010-2011 algunos modelos de este tipo han visto la luz y continúan en producción. Pero no obstante ello, la alternativa eléctrica está hoy por hoy lejos de ser una verdadera revolución que sustituya de forma rápida al automóvil de combustión y ello debido fundamentalmente a las limitadas características técnicas de los vehículos eléctricos principalmente en lo que respecta a autonomía, y por la escasa capacidad de recarga que brinda la actual red de recarga, con tiempos que oscilan entre la media hora (en el mejor de los casos) y las 8 horas. Así, el futuro devenir del vehículo eléctrico pasa fundamentalmente por la mejora de las posibilidades y capacidades de recarga, entre ellas la tradicional mediante conexión directa y una nueva opción prácticamente no probada aún: el intercambio o sustitución de baterías.

Una estación de sustitución de baterías es una instalación industrial/comercial que guarda gran similitud con las estaciones de servicio actuales, no en vano el objetivo de ambas es el mismo: surtir de energía a vehículos para su uso, diferenciándose ambas en el tipo de vehículo al que sirven, el

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

combustible que usa y en la forma de realizar su cometido, siendo en una el surtidor una máquina para el bombeo de un fluido como pueden ser la gasolina o el gasóleo mientras en el otro caso se trata de intercambiar un paquete sólido de baterías de gran capacidad.

## **1.2. Objetivos del proyecto.**

El objetivo del presente proyecto es analizar los efectos perniciosos que se derivan del uso masivo de combustibles fósiles en el sector del transporte y sus posibilidades futuras, así como llevar a cabo un estudio de viabilidad económica de la infraestructura antes citada, una electrolinera para la sustitución de manera automatizada de baterías de automóviles eléctricos. Existen ciertos estudios similares en la actualidad y un precedente llamado BetterPlace en países como Dinamarca e Israel, pero que desafortunadamente quebró. Analizaremos cómo funcionaba y cuáles fueron las causas de la quiebra de dicho modelo, a la par que ofreceremos una alternativa que subsane al menos parcialmente las causas que provocaron la bancarrota de la compañía y esa de utilidad de cara a la implantación del vehículo eléctrico.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## 2. Los problemas asociados al consumo de combustibles fósiles.

En la actualidad prácticamente todos estamos informados- no estarlo es difícil dada la variedad de medios a nuestra disposición para ello- de los altos costes tanto económicos como medioambientales que nuestro estilo y nivel de vida conllevan, en gran medida, debido al uso que hacemos de los combustibles fósiles. Vamos a explicar- en la medida de lo posible- con cierta profundidad cuales son esos costes, qué magnitud tienen y de dónde provienen tras una breve introducción al desarrollo del automóvil tal y como lo conocemos hoy.

### 2.1. Introducción.

Desde que Lenoir, ingeniero Belga creara el que se acepta como el primer motor de combustión interna para fabricación en masa hacia mediados del s. XIX han pasado alrededor de 150 años y el avance y la evolución del mismo han sido espectaculares hasta llevarnos, en la actualidad, a niveles de vida que su inventor no pudo siquiera soñar.

Históricamente se considera que fue la máquina de vapor el invento detonante de lo que se conoce como primera revolución industrial desde finales del s. XVIII a principios del s. XIX, principalmente en Gran Bretaña y que conllevó una rápida y radical transformación social en todos los ámbitos, particularmente en el económico, con la aparición de la industrialización y con el nacimiento del capitalismo. Como comentábamos se considera a la máquina de vapor el elemento fundamental que provocó el surgimiento de esta revolución en la técnica al aportar nuevas formas de energía a la manufactura y permitir así el nacimiento de grandes instalaciones industriales. Por otro lado acompañó la creación del ferrocarril y con él una gran revolución en el transporte fue posible, pudiendo alcanzar distancias, velocidades y capacidades de carga hasta entonces sólo soñadas y que multiplicaba muchas veces la capacidad de transporte terrestre, hasta entonces fundamentalmente mediante animales.

Así mismo supuso otra revolución en materia de transporte marítimo, dado que hasta entonces este dependía de la fuerza del viento, no había cambiado significativamente en este punto en más de 2000 años y las capacidades de dicha fuerza, aunque económica, eran limitadas dada su variabilidad y su escasa potencia. Con la aparición de la máquina de vapor a bordo de un navío y su propulsión mediante ruedas de paletas y posteriormente hélices el cambio iba a ser rápido, drástico y notable.

A partir de mediados del s. XIX el ingeniero belga Lenoir patentó la primera máquina térmica conocida como motor de explosión para fabricación en serie, nació así el motor de combustión interna-MACI- de uso industrial que supondría una nueva revolución industrial al permitir el uso de materiales hasta entonces casi sin empleo como el fuel oil y demás derivados del petróleo y permitiría lograr una mayor independencia del carbón, sumamente sobre explotado en Europa. Durante el último tercio del s. XIX y hasta principios del XX se desarrollaría esta revolución con el MACI como uno de sus principales componentes y- valga la redundancia- motores de desarrollo de la misma. Un hecho particular- o un personaje, más bien- daría el impulso definitivo a la verdadera revolución en el transporte y supone el último gran cambio en la movilidad individual con la excepción del avión: la aparición del Fordismo o producción en cadena. Como su nombre indica se debe a D. Henry Ford, ingeniero estadounidense que desarrolló el método de producción en cadena, lo que abarató brutalmente los costes y puso el automóvil al alcance de casi todos, produciendo una revolución en la forma de transporte individual. El método se generalizó a escala planetaria y apenas

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

ha cambiado hasta nuestros días aunque ha ido poniéndose al día en la técnica y la tecnología, y aunque el sistema en conjunto sigue siendo el mismo, multitud de procesos han cambiado hasta ahora debido a dichos avances, fundamentalmente debido al empleo de la electrónica y la robótica.

Además de para el transporte individual, al socaire y perfeccionamiento de este invento surgieron también nuevos avances en el transporte colectivo y en el transporte de mercancías en todos los ámbitos, facilitando como nunca antes se había visto las posibilidades comerciales y, en los países desarrollados donde llegó antes y en mayor medida, provocando un aumento en el nivel de vida sin par en la historia del ser humano. Millones de toneladas son hoy día transportadas a diario merced a dicho invento, por ejemplo, por vía marítima, donde el 100% de la flota mercante mundial se mueve mediante estas técnicas. A pesar del continuo desarrollo del ferrocarril, el transporte de mercancías por carretera a larga distancia sigue siendo una de las formas imprescindibles para dicha actividad y de nuevo nos encontramos con un 100% de la flota a nivel mundial movida por un MACI. Y por supuesto, conforme descendemos en el nivel organizativo de la actividad logística consecuentemente nos encontramos que en los envíos finales de mercancía mayor es el saldo favorable al transporte por carretera o vía urbana frente al ferrocarril por ser sus características mucho más adecuadas a las necesidades del cliente final. Por otro lado los modernos motores a reacción tipo turbofán empleados tanto para el transporte de personas como mercancías tienen sus predecesores en los grandes MACI que montaron desde los comienzos de la aviación a principios de los años 20 del s. XX y sin los cuales de nuevo gran cantidad de avances e incrementos en la calidad de vida de los países más desarrollados no habría sido tampoco posible.

Por tanto, no es posible pasar por alto que a lo largo del s. XX ha sido el MACI uno de los principales impulsores del extraordinario desarrollo de la sociedad occidental y ha contribuido de manera fundamental a todos sus logros bien directamente o indirectamente. Pero si bien lo anterior es cierto no es menos cierto que desde diversos puntos de vista la utilización masiva del MACI a lo largo del pasado siglo y su continuación en el actual no ha estado exento de problemas, algunos de los cuales van a hacer que el s. XXI pueda ver una nueva revolución basada en grandes cambios en la movilidad. Algunos problemas actuales del empleo del MACI tienen que ver con consideraciones de tipo económico dada la actual escasez pero sobre todo la prevista; otros son problemas de tipo político, dado que la distribución de las fuentes energéticas de origen fósil se encuentra muy desigualmente repartida a lo largo y ancho del globo y puede generar problemas de este tipo por el control de los recursos; por último nos encontramos con problemas de tipo medioambiental y sanitario dado que desde el último cuarto del s. XX se ha desarrollado una cierta conciencia medioambiental que pretende tomar al ser humano como un elemento más del ecosistema en el que vive y que, merced a su obra, en muchos casos lo está destruyendo, lo que puede resultar funesto para él mismo, y en este punto y en las consecuencias de tipo sanitario que se derivan de él los MACI también juegan un papel fundamental.

Por todo ello, que estudiaremos con más detalle a continuación existen un número amplio de estudios acerca de la viabilidad futura del MACI y sus posibles sustitutos, así como los cambios que se pueden producir como consecuencia de esto. De la misma forma que hemos comentado acerca de la primera y segunda revolución industrial, existe la creencia de que actualmente nos encontramos en el desarrollo de la tercera revolución industrial<sup>1</sup>, donde los principales motores de cambio de nuestra forma de vida son las tecnologías de la información-internet, fundamentalmente- así como el

---

<sup>1</sup> Expresión adoptada por el Parlamento Europeo en 2007.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

desarrollo de nuevas formas de energías llamadas *sostenibles* por pretender serlo desde el punto de vista económico y medioambiental. Son dos elementos clave que desde hace alrededor de una década están transformando en el primer caso la forma de comunicarnos entre los seres humanos y en el segundo, aunque de desarrollo más tardío, posibilitando la aparición de nuevas fuentes de energía que pueden, en gran medida, solucionar los problemas derivados del uso intensivo del MACI que hace el ser humano en la actualidad.

## **2.2. Los problemas de tipo económico derivados de la producción. El PeakOil.**

El Peak Oil o pico petrolero es el nombre que recibe la teoría de explotación petrolífera propuesta por el geofísico estadounidense Marion King Hubbert que muestra una aproximación teórica al modelo de explotación de los combustibles fósiles-particularmente petróleo- por el ser humano y del momento de su cénit. Posee forma de campana de Gauss. En 1956 el profesor Hubbert predijo mediante esta teoría que el pico petrolero en la producción de Estados Unidos tendría lugar entre mediados y finales de la década de los 60, alcanzándose finalmente este hecho en 1970. Según esta teoría el pico de producción petrolífera a nivel mundial debería haber sido alcanzado en la primera década del s. XXI y aunque hay diferentes opiniones la Agencia Internacional de la Energía-IEA por sus siglas en inglés- emitió un informe en noviembre de 2010<sup>2</sup> en el que admitía por primera vez la posibilidad de que se hubiera dado este fenómeno y lo situaba alrededor del año 2006, por lo que de nuevo la teoría propuesta por Hubbert estaría en sintonía con lo remarcado por los resultados. Incluso el Economista jefe de la IEA, Fatih Birol advirtió en un programa de radio en Australia que las investigaciones de su departamento probaban que prácticamente ningún país de la OCDE estaba preparado para afrontar la llegada del Peak Oil, cuyas consecuencias podrían empezar a notarse de forma importante en el período 2014-2016.

Según la teoría de Hubbert, la curva seguida por la explotación petrolífera se asemeja a la campana de Gauss y por tanto si bien el crecimiento de la explotación se ajusta exponencialmente el decrecimiento no es menos brusco y rápido, lo que podría provocar incrementos en el precio del petróleo rápidos y elevados.

---

<sup>2</sup> IEA 2010Executive Summary.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

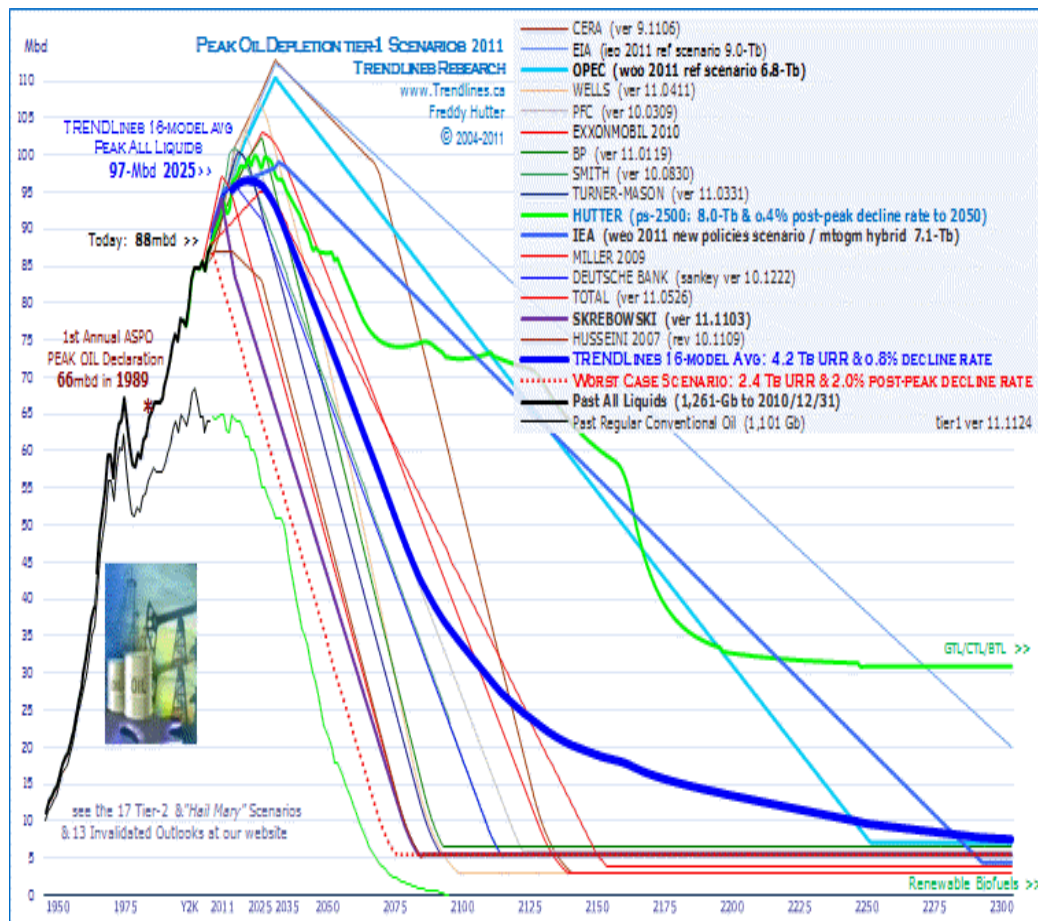
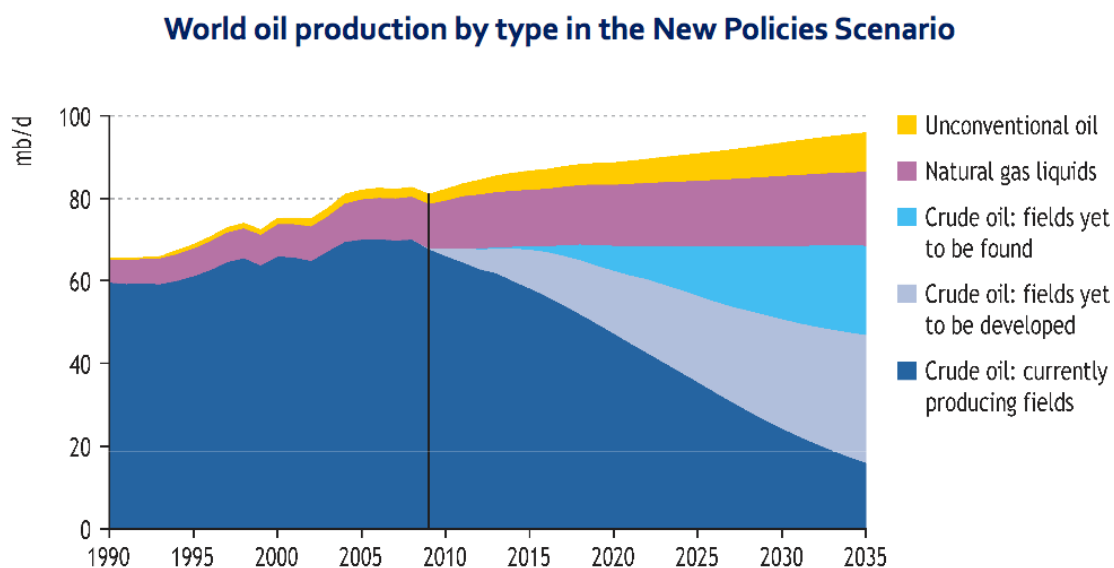


Figura 2.1: aproximación a la explotación petrolífera. Fuente: PeakOil.com

A la vista de la gráfica podemos observar que las predicciones más pesimistas datan el fin de la era del petróleo aproximadamente a finales del s. XXI y las más optimistas lo sitúan entre el 2150 y el 2175, pero en cualquier caso estamos hablando de situaciones en las que la producción mundial de petróleo se reduce en más de un 80% respecto de la actualidad, pero es de estimar que bastante antes de llegar a este punto, en función de la demanda, el precio evolucionará de forma notablemente ascendente haciendo su consumo inviable para gran parte de la economía mundial. Veremos más adelante las estimaciones de precios del crudo a futuro.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

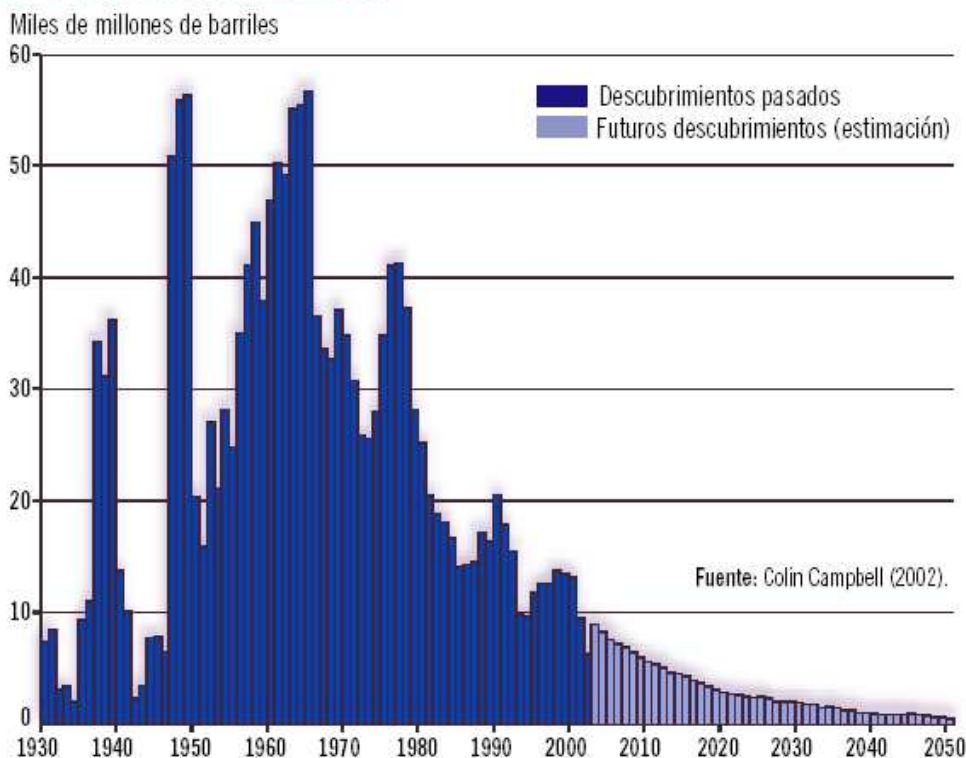


**Figura 2.2: Estimación explotación petróleo mundial. Fuente: EIA.**

En la gráfica anterior podemos observar una aproximación del informe de la IEA ligeramente más optimista pues prevé una reducción de la producción similar al anterior gráfico aunque estima que con los yacimientos descubiertos y previsiblemente explotables más los que estima pueden ser descubiertos la producción de petróleo puede haberse estancado alrededor del año 2010 aproximadamente. Según los datos de producción petrolífera para el año 2013 propuestos por la IEA, esta asciende a 88 millones de barriles diarios, alrededor de un 8% superior a la estimación mostrada en la gráfica 2 lo que se aproxima bastante. Aunque existen más dudas acerca de la posibilidad de descubrimiento de nuevos yacimientos que en el informe de ésta suponen casi un 20% de la extracción total para el año 2035. Por otro lado destaca el repunte de los fluidos procedentes de la extracción de gas natural así como del llamado Petróleo no convencional, básicamente petróleo de origen sintético-obtenido a partir de síntesis del carbón, mediante algas o por producción industrial, más difícil-. Por tanto, si tomamos sólo los datos adoptados a día de hoy por la IEA tenemos que los yacimientos en explotación y los descubiertos y pendientes de explotación supondrán tan sólo el 50% de la producción energía proveniente de origen fósil para el año 2035 y que el resto es supuesto o estimado. Por tanto a todas luces la producción de energía de origen fósil va a sufrir un importante cambio en las próximas dos décadas.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## Descubrimientos



**Figura 2.3:** estimación de descubrimiento de yacimientos. Fuente: Colin Campbell.

La gráfica anterior muestra una serie histórica del descubrimiento de grandes yacimientos y una predicción basada en la continuidad de la curva expuesta, perteneciente al geólogo británico Colin Campbell, quién predijo con bastante exactitud que el pico de producción petrolífera se daría en el año 2007. Como podemos observar no es muy optimista en cuanto al número de grandes descubrimientos a llevar a cabo a partir de 2002 y por líneas similares se mueven los demás estudios en la materia, pudiendo observar incluso en la misma gráfica la comparación entre descubrimientos presentes y futuros de nuevos yacimientos y la producción actual y la esperada en el corto plazo así, la gráfica siguiente nos muestra lo comentado, donde podemos observar que la producción actual de petróleo ya ha superado los descubrimientos de nuevas fuentes actuales y como se espera que al ritmo de crecimiento de la producción actual la brecha entre ambos va incluso a aumentar, dando como resultado una situación insostenible.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

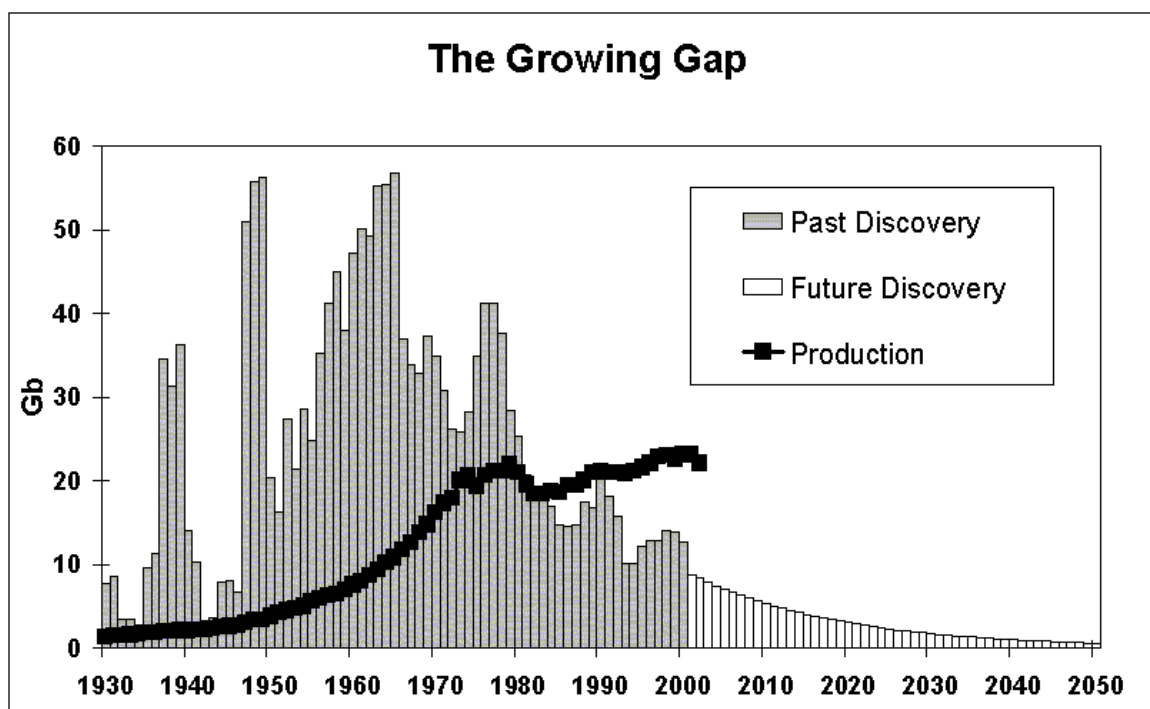


Figura 2.4: estimación de descubrimientos de yacimientos. Fuente: [www.hubbertpeak.com](http://www.hubbertpeak.com).

De similar forma a la anterior gráfica se muestra la siguiente en la que aparecen tres funciones representadas: de un lado la producción actual de líquidos procedentes de combustibles fósiles tanto procedentes de la licuefacción de gas como derivados del petróleo; por otro lado, el descubrimiento anual de nuevas reservas de origen petrolífero y por último una aproximación en cómputo medio de 5 años del incremento de las reservas. Todo ello sintetizado de la siguiente manera:

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## World Liquids Resources The Key Concern

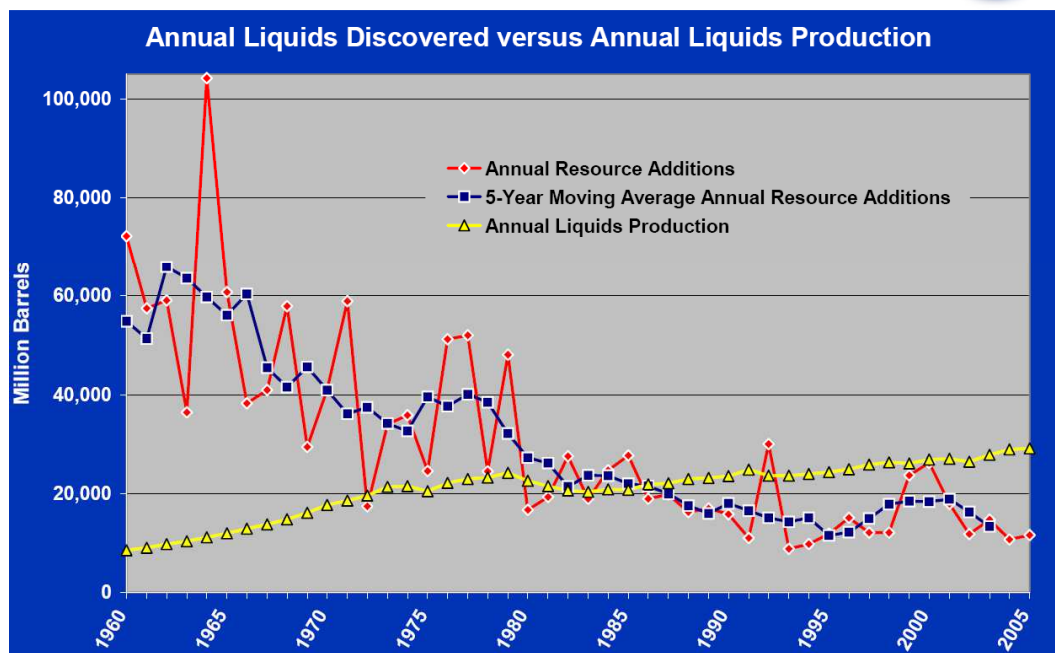


Figura 2.5: variación del incremento de las reservas líquidas frente a consumo de las mismas. Fuente: IHS.com.

Resumiendo lo visto hasta el momento podemos decir que multitud de estudios coinciden en que el actual ritmo de consumo de productos derivados del petróleo no se corresponde con las posibilidades de producción a escala global no ya de cara al futuro lejano sino incluso en un futuro próximo. Gran parte de los datos anteriormente reseñados y a pesar de estar detrás de ellos instituciones y personalidades con grandes conocimientos y prestigio son elucubraciones racionales de tendencias de cara al futuro y por tanto pueden sufrir, de cara a su comportamiento real, variaciones significativas tanto de forma positiva como negativa. No obstante, sirven de muestra acerca de la tendencia actual en la producción y consumo de energía procedente de combustibles fósiles y los datos que aparecen son fidedignos y corroborados por dichas instituciones y personalidades. En adición a esto, dichas elucubraciones son compartidas en general por amplios sectores de la comunidad científica y económica y si bien como se ha reseñado las diferentes expectativas pueden modificarse, en lo sustancial es ampliamente aceptado que la posible variación de las mismas será escasa a excepción de aquellas que puedan ser impuestas de forma más o menos brusca, tales como una caída de la demanda drástica en épocas de escasez y especulación. En resumidas cuentas: el ritmo actual de consumo de derivados del petróleo no es sostenible en forma técnica-no hay suficiente- ni económica-nuestra economía es totalmente dependiente del mismo y por tanto inviable sin él-.

De todo lo anterior podemos deducir que si la demanda no decrece al ritmo que lo hace la producción, el precio del barril en cualesquiera modalidad se incrementará de forma elevada, sin contar naturalmente con la especulación que pueda darse en los mercados primarios o secundarios.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Si se acepta que la capacidad de producción de combustibles de origen fósil va a disminuir en las formas que hemos visto con anterioridad, parece razonable que a largo medio y plazo el consumo del mismo decrecerá por pura escasez, pero mientras se llegue a ese escenario el camino a recorrer tiene distintas posibilidades en función de cómo evolucione la demanda global del mismo: constante, creciente o decreciente. Que la demanda de combustibles de origen fósil sea decreciente por deseo expreso nuestro en el futuro inmediato requiere de un estudio y una planificación sistemáticas y consistentes que, al menos en la actualidad, no existen como tales en la mayoría de países occidentales, al menos no de forma seria como planes de ejecución posible en el corto o medio plazo, lo que lleva a pensar que en los próximos 10/15 años la demanda probablemente no siga este camino. No obstante, es posible que la demanda no decaiga de forma planificada y ordenada si no debido a la actual crisis económica que padecemos, especialmente en occidente y particularmente en España, en la actualidad. Pero esta posible caída es una cuestión puramente coyuntural, al no estar planificada ni ordenada se corresponde a una cuestión de evolución de la economía y por tanto no a un cambio en el modelo energético, luego en este caso el decrecimiento en el consumo será moderado y seguirá una senda evolutiva paralela a la economía de forma que si esta se recupera y aparece el tan ansiado crecimiento, el consumo de combustibles fósiles es de esperar que tome también una senda creciente. La probabilidad de una demanda creciente en el corto o medio plazo es bastante elevada debido sobre todo al consumo reciente y creciente de los llamados países emergentes, a saber, Brasil, Rusia, China y la India, entre los cuales totalizan alrededor de 2.600.000.000 de habitantes que cada día incrementan su acceso a automóviles o mejoras en su calidad de vida que requieren energía para poder suplirse y con un crecimiento medio en torno al 6% anual en la última década-caso de China-es probable que a pesar de la actual crisis y en cuanto esta se vea superada, el crecimiento en su consumo se incremente. En el caso concreto de China podemos observar con una gráfica el crecimiento en el consumo de energía de origen fósil en los últimos años:

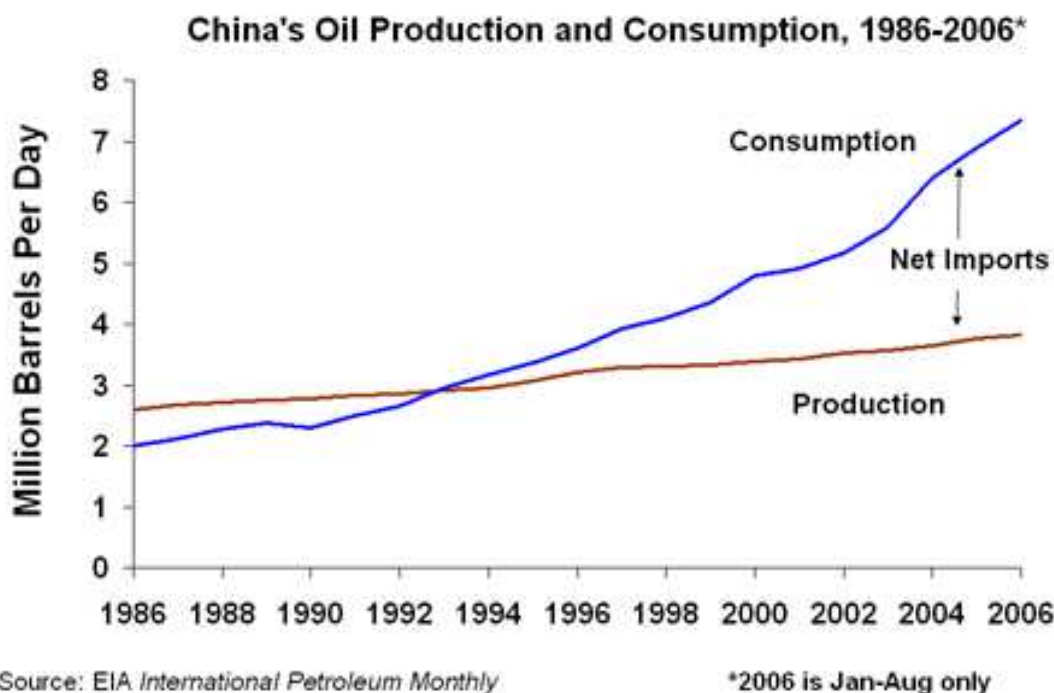


Figura 2.6: evolución de la producción y consumo de petróleo en China. Fuente: Theoil Drum.com.

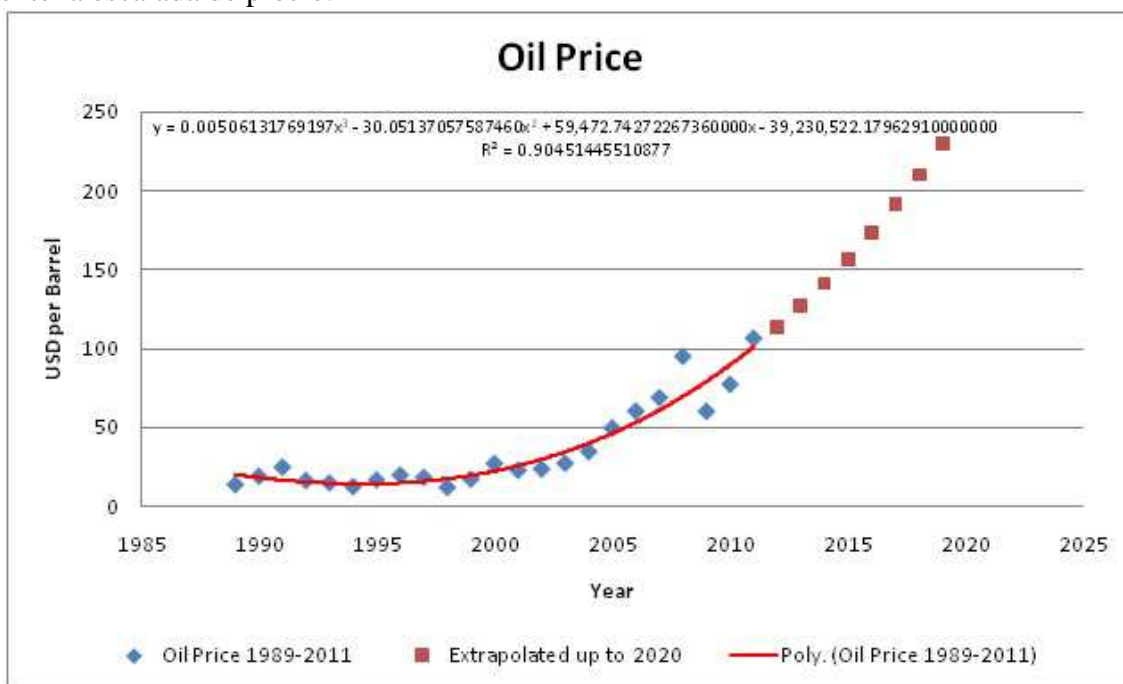


## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

El caso chino sirve como ejemplo a otros de los comentados países emergentes siendo sus gráficas de evolución similares a la China aunque sea esta la más notable de todas por su rápido incremento y gran magnitud.

Otra posibilidad es simplemente que la demanda real se ajuste a las posibilidades de la oferta, es decir, con una demanda que alcanza el 100% de la oferta debido a que la demanda deseada es mayor a la producción real. En este caso el precio del combustible puede dispararse de manera escandalosa siendo cada vez menos accesible y ahogando a las economías de manera sucesiva mientras su precio crece. Este parece el caso más probable dados los datos que hemos visto hasta ahora y la ausencia de planes creíbles para modificar el modelo energético en el corto-medio plazo en ningún país. Existen planes a largo plazo pero en general son a muy largo plazo y por tanto carecen de una definición clara y concisa y de un estudio en profundidad que devenga en unos plazos definidos para alcanzar una meta. Por lo general son planes o estudios estratégicos y declaraciones de intenciones en el largo plazo.

Debido a las limitaciones naturales de la oferta-futura escasez de combustibles fósiles- y la escasa preparación para realizar un decrecimiento de la demanda las previsiones que se pueden hacer acerca de la evolución de los precios del petróleo no son en absoluto halagüeñas, encontrándonos actualmente en una zona cercana al máximo histórico y con previsión de superarlo en los próximos años. Tan sólo el actual devenir de la economía, como hemos apuntado con anterioridad, merman levemente la escalada de precio.

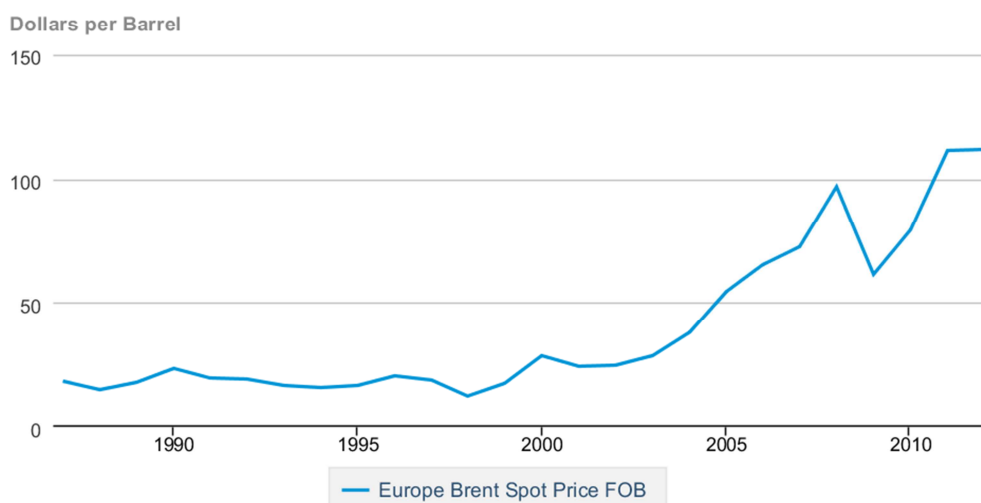


*Figura 2.7: evolución en los últimos 25 años del precio del petróleo y extrapolación continuista del mismo para los próximos 10 años.*

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

La gráfica anterior muestra la evolución del precio del barril de petróleo Texas desde 1987 hasta 2011 con una curva de regresión ajustada y una extrapolación siguiendo la misma ecuación en forma de polinomio de grado 3 nos lleva a esperar un precio que aumente en casi un 100% entre 2010 y 2020. Existen gráficas en las que analistas de diversos lugares tienen en cuenta otras variables para modificar los datos conocidos y no basar sus estimaciones únicamente en series de datos históricos pero los resultados no varían en exceso.

## Europe Brent Spot Price FOB



**Figura 2.8: Evolución precio del petróleo 1990-2010. Fuente: Thompson Reuters.**

En la anterior gráfica, en este caso del barril Brent-de referencia en Europa- un tanto más ajustada a la variación de los precios reales y no sólo a las tendencias de los mismos, podemos observar que sigue parecida evolución a la anteriormente observada para el barril Texas aunque aquí se puede apreciar con mayor claridad los efectos de la recesión económica en el continente europeo y cómo entre los años 2008-2009 el precio del barril decreció desde un máximo histórico de 147.28 Dólares/barril hasta los 73, para continuar con al senda alcista desde finales de 2009 hasta 2011 donde se situó entorno a los 110-120 Dólares/barril. Si nos fijamos en la gráfica no alcanza estos valores por que la fuente ha realizado un tipo de ajuste en función de costes “logísticos” que lo rebajan sensiblemente; no obstante estas diferencias de apreciaciones, la tendencia es claramente alcista.

Otros estudios de instituciones gubernamentales como el ministerio de energía del Reino Unido dan aproximaciones y posibles escenarios en coyunturas alcistas, bajistas o continuistas; en la siguiente gráfica vemos una muestra de ello.



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

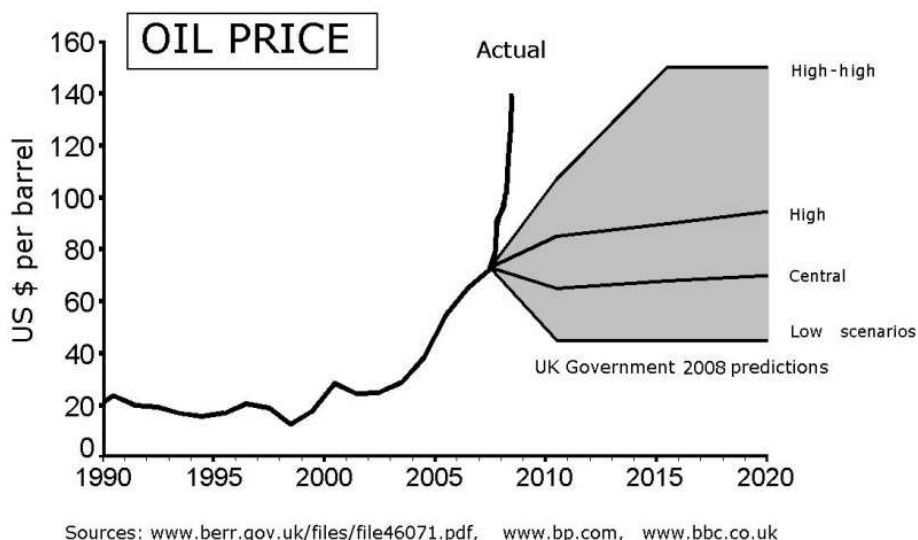


Figura 2.9: Evolución precio del petróleo 1990-2009 y posibles escenarios futuros.

Quizá algunas de las opciones más razonables siguen una curva de crecimiento exponencial pero tienden a suavizarse debido a que si hasta ahora se había considerado una demanda cuanto menos constante o simplemente se habían tenido en cuenta diferentes e hipotéticos escenarios, en este siguiente caso se tiene en cuenta la variación del precio en lo que este puede afectar a la variación de la demanda, dado que normalmente es éste el principal factor que regula esta en la mayoría de los bienes.

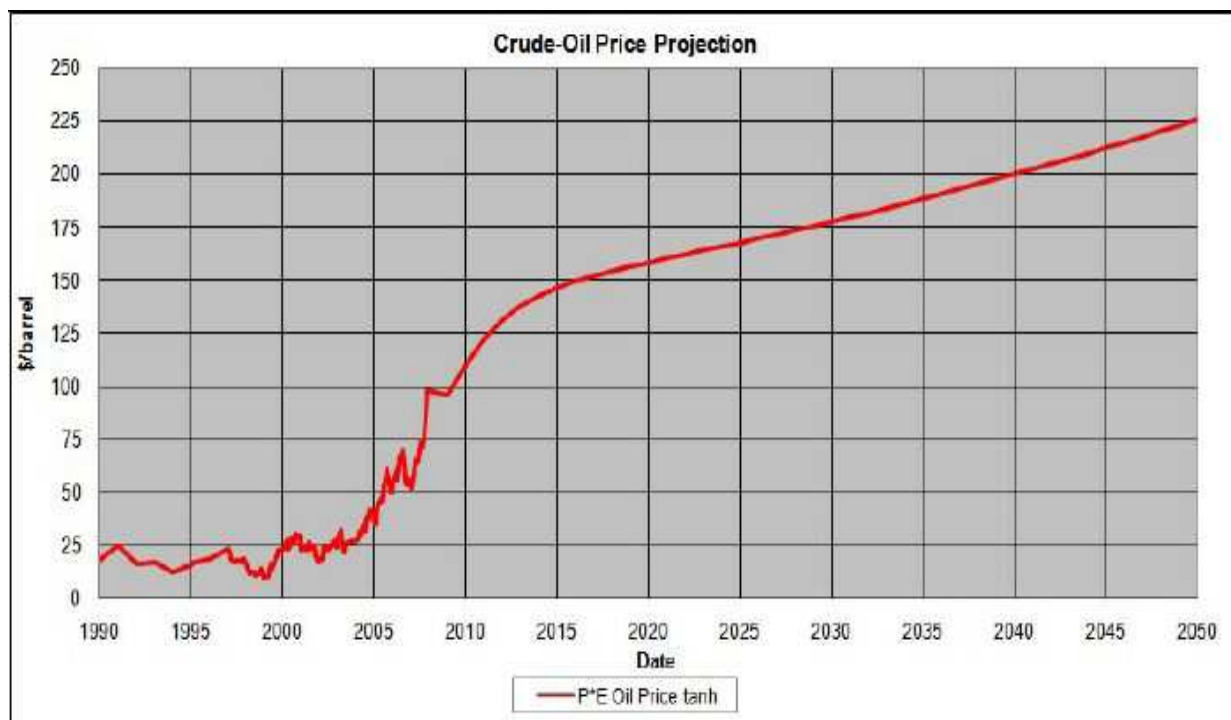
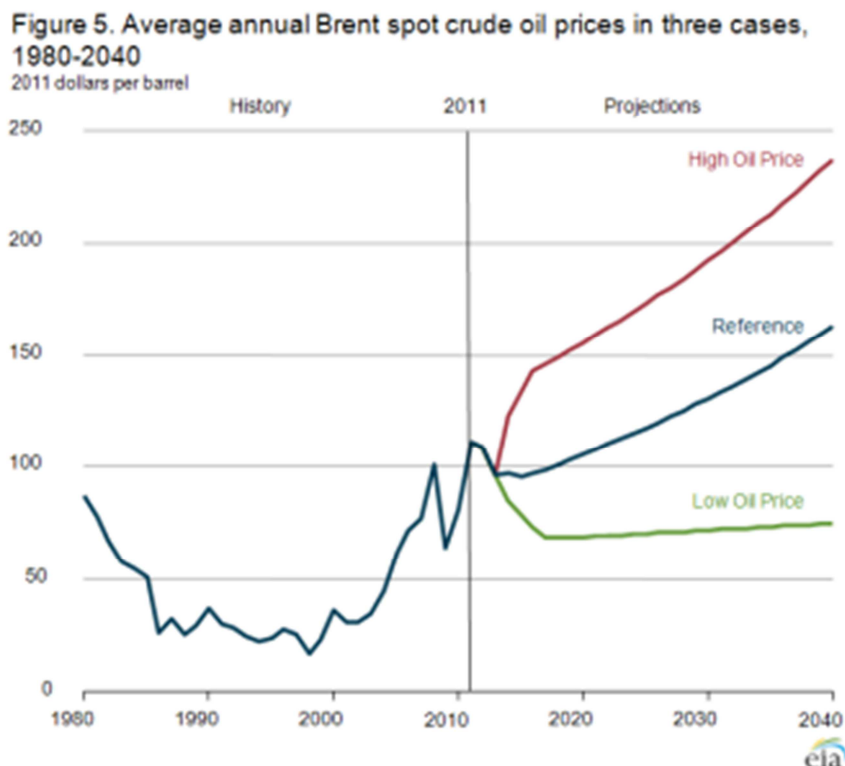


Figura 2.10: evolución prevista del precio del petróleo teniendo en cuenta la demanda asociada a la evolución del mismo.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Otra gráfica interesante la aporta de nuevo la EIA (Energy Information Administration de los EE.UU.) en la que se toman en cuenta tres posibles predicciones en función de la evolución que siga la economía, si hay un decrecimiento de la misma, un estancamiento o se recupera.



*Figura 2.11: posibles escenarios de evolución del precio del petróleo a futuro. Fuente: EIA.*

En conclusión, hemos observado como diversas organizaciones, asociaciones de estudio, científicos y diversas personalidades del mundo de la geología y de la economía están de acuerdo en que en el futuro a medio-largo plazo los combustibles de origen fósil no son viables en términos económicos por que su disponibilidad y por tanto su producción no va a alcanzar para satisfacer la elevada demanda de los países desarrollados y de los llamados en vías de desarrollo, pujantes economías hoy día que están incrementando su calidad de vida con el aumento en el consumo energético que ello conlleva, con lo que los precios de los mismos, previsiblemente, van a incrementarse de manera elevada en los próximos años pudiendo suponer un problema sumamente importante a las economías avanzadas si no se desarrolla un modelo energético alternativo que pueda suplir este escenario. En suma, es estrictamente necesario un cambio en el modelo energético desde el punto de vista económico que haga nuestro estilo y nivel de vida sostenibles, de lo contrario corremos el riesgo -no sólo desde el punto de vista económico- de sufrir un colapso en un tiempo no excesivamente lejano del momento actual y en un tiempo no muy prolongado si la evolución comentada es rápida y no somos capaces de adaptarnos a tiempo a los cambios que conlleva dicha evolución.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **2.3. Incidencias del uso de combustibles fósiles en la salud humana y el medio ambiente.**

La mayoría de las personas mínimamente informadas pueden hacerse una idea y conocen aunque sólo sea levemente los problemas de tipo medioambiental y de salud pública que puede causar la combustión de materias primas de origen fósil, sintético o vegetal en los MACI.

### **2.3.1. Principales agentes constituyentes de las emisiones vehiculares en Europa y España.**

Vamos a enumerar y comentar brevemente algunos de los principales agentes que pueden incidir negativamente en la salud de las personas y el efecto que pueden causar en ella provenientes de la combustión:

- Hidrocarburos: provienen del combustible no quemado o quemado parcialmente.
  - Son causantes principales del conocido “smog”.
  - Algunos de ellos son tóxicos.
  - Reaccionan con oxígeno en presencia del sol para formar ozono en las capas bajas de la atmósfera, lo que es sumamente perjudicial para el sistema respiratorio humano, causando irritación pulmonar, tos y disminución de la capacidad pulmonar.
- Benceno: es un hidrocarburo aromático presente en los combustibles fósiles, utilizado en pesticidas y fungicidas, detergentes y algunos medicamentos.
  - La exposición al benceno puede provocar mareos, dolor de cabeza, náuseas.
  - Breves exposiciones a altas dosis de benceno pueden ser mortales para seres humanos.
  - Es causante comprobado por la OMS de leucemia.
  - Largas exposiciones a dosis no letales pueden causar problemas de producción sanguínea, anemias y hemorragias internas.
  - Afecta al sistema inmune, reduciendo el nivel de defensa del cuerpo, principalmente frente a tumores.
  - Largas exposiciones durante el embarazo pueden provocar alteraciones del feto, deformidades y problemas de médula ósea en recién nacidos.
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>): se forman por la reacción del nitrógeno del aire con el oxígeno a altas temperaturas.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Contribuyen a la formación del “smog” y del ozono a baja altura.
  - Causan irritación de las vías respiratorias.
  - Pueden agravar la sintomatología de personas con problemas respiratorios y asma.
  - Pueden causar infecciones pulmonares.
- Óxidos de carbono ( $\text{CO}_x$ ): son productos comunes de la combustión de hidrocarburos.
    - El monóxido de carbono (CO) es un gas producto de la combustión insuficiente del carbono, es un gas tóxico cuya inhalación por accidente puede resultar mortal en grandes dosis. Se fija a los glóbulos rojos y disminuye su capacidad para portar oxígeno, por lo que reduce el aporte de este a los diferentes órganos (cerebro, músculos), causando mareos, pérdidas de consciencia y muerte. Es especialmente peligroso para personas con problemas de tipo cardíaco, niños y fetos, pudiendo bloquear parcialmente el aporte de oxígeno al cerebro y causando problemas de desarrollo del mismo y retrasos mentales.
    - El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es producto de la combustión de hidrocarburos en presencia de oxígeno, es uno de los principales gases causantes del conocido como “efecto invernadero” y como veremos posteriormente, es una medida en torno a la cual se toman en la actualidad medidas de tipo legal y fiscal para reducir el impacto de las emisiones.
  - Partículas ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ): el término “partículas en suspensión” abarca un amplio espectro de sustancias orgánicas e inorgánicas dispersas en el aire y que pueden provenir de fuentes naturales o antropogénicas. No obstante, de forma general y en nuestro caso en concreto resultan particularmente importantes aquellas provenientes de la combustión del tráfico, especialmente en áreas urbanas.
    - Normalmente son expulsadas al ambiente a través del tubo de escape con tamaños no superiores a la micra, pero que en ocasiones, en motores diésel antiguos de gran tamaño (camiones, autobuses) pueden llegar a sobrepasar el milímetro. En la mayoría de países se clasifica como límite las  $\text{PM}_{10}$  (10mm), aunque se consideran respirables las partículas por debajo de  $\text{PM}_{2.5}$ .
    - Son uno de los principales causantes del smog urbano, el que le da el color grisáceo tan característico. Pueden quedar en suspensión en el aire, lo que las hace fácilmente inhalables por los seres vivos.
    - Aquellas partículas que son inhaladas pueden ser causa de múltiples dolencias en el sistema respiratorio tales como oclusión de los pulmones, irritaciones de estos o de la laringe, tos, asma. Particularmente pueden ser un problema grave para aquellas

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- personas aquejadas de este tipo de dolencias con anterioridad, pudiendo agravar la sintomatología.
- Igualmente pueden afectar al sistema cardiovascular al entrar al organismo a través del torrente sanguíneo y distribuirse gracias a éste a todos los órganos restantes.
  - Algunas partículas respirables pueden contener metales (como el aluminio y el hierro) y múltiples sustancias de las anteriormente enumeradas, siendo un medio de transmisión muy importante. Además, este medio impide o dificulta la posibilidad de limitar geográficamente el alcance de las mismas.
  - Son las principales causantes de que el humo de escape de los motores diésel haya sido considerado cancerígeno<sup>3</sup> (Grupo 1) por la OMS.
- Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>): son producidos por la reacción del azufre con el oxígeno a altas temperaturas, particularmente presentes son el dióxido de azufre y el trióxido de azufre.
    - El dióxido de azufre puede reaccionar en el aire creando partículas microscópicas del mismo particularmente peligrosas para los pulmones, en especial de personas enfermas y niños.
    - La exposición a los óxidos de azufre causa diferentes síntomas y problemas tales como calambres y espasmos musculares, mareos, sudoración, vómitos, respiración forzada.
    - Absorbido por la piel puede causar efectos sobre el sistema nervioso y depresión de la respiración. Así mismo, es un inhibidor de la colinesterasa, pudiendo llegar a provocar la muerte.
  - Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP): son un grupo de químico compuesto por más de cien elementos que se forman como resultado de la combustión parcial de hidrocarburos procedentes de combustibles de origen fósil y vegetal, tales como petróleo y sus derivados, carbón, masa forestal, etc;
    - Pueden formar un polvo o unirse a partículas volátiles, lo que les da gran capacidad de propagación, especialmente por vía aérea.
    - No arden con facilidad y pueden permanecer en el medio por meses o incluso años.
    - Pueden penetrar en el organismo rápidamente a través de la piel o el sistema respiratorio y una vez dentro del torrente sanguíneo acaban en órganos como los riñones, hígado, los ovarios y la grasa.
    - Han sido definidos por la OMS como potencialmente cancerígenos.

---

<sup>3</sup> Boletín OMS Junio 2012.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- La exposición de embarazadas a los mismos puede provocar trastornos en el desarrollo del feto, así como alteraciones de tipo genético.
- La descendencia de una madre en exposición durante el embarazo puede desarrollar problemas reproductivos.
- Metilciclopentano y pentadieno: son hidrocarburos alifáticos aromáticos utilizados como aditivos para mejorar la combustión de los carburantes, especialmente una vez las restricciones legales impidieron el uso del plomo.
  - Puede ser una neurotoxina potente así como una toxina respiratoria.
  - Se disuelve con facilidad en agua, lo que lo convierte en un potencial contaminante de acuíferos.
- Otros aditivos potencialmente peligrosos: tales como el plomo en gasolinas de países en vías de desarrollo o en vehículos antiguos.
  - Pueden ser severos contaminantes de acuíferos naturales.
  - Pueden tener propiedades cancerígenas.
  - Pueden causar afecciones a los sistemas respiratorio y cardiovascular.
  - Pueden causar problemas de fertilidad, problemas de desarrollo y vitalidad del espermatozoide.

No obstante, todo lo anteriormente expuesto no es posible considerarlo de forma individual sino que es el conjunto, cantidad y distribución de todo ello lo que determina hasta que punto las emisiones vehiculares resultan nocivas para el medioambiente y para la salud de los seres vivos.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## 2.3.2. Estimación de emisiones del parque de vehículos en España.

Como obtener el conocimiento total de las emisiones del parque de vehículos a motor es imposible, vamos a basarnos en las estimaciones que se recogen en el inventario nacional de emisiones y que están disponibles a través de la página web del ministerio de medioambiente, alimentación y agricultura, concretamente el llamado capítulo 7º en la nomenclatura SNAP<sup>4</sup>, dedicado a las emisiones contaminantes en el conjunto de la nación.

Los datos de emisiones han sido estimados a partir de otra serie de datos conocidos u obtenidos previamente bien de forma estadística bien por hallarse registrados en alguna institución de carácter gubernativo y su uso a través del programa COPERT de la EEA(European Environment Agency).

Igualmente, para la comprender dichas estimaciones es interesante conocer los diversos factores que intervienen en su composición y hacernos una idea aproximada de sus dimensiones. Para el cálculo de las emisiones se hace necesario conocer con cierto detalle el parque automotriz español, tanto en variedad como en cantidad, haciendo distinción de los diversos tipos de vehículos que lo componen así como de su cantidad. Junto con ello es necesario hacer unas estimaciones del consumo de dichos vehículos así como la distancia total recorrida aproximadamente por los mismos de forma anual.

AÑO MATR.	CAMIONES		AUTOBUSES		TURISMOS		MOTOCICLETAS		TRAC. INDUSTRIAL		
	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	Gasolina	Gasóleo	
Antes de 1991	266.569	508.719	266	8.219	2.444.218	240.962	686.397	1.479	359	15.304	
1991	27.515	73.949	14	620	206.596	32.052	78.002	2	37	1.383	<b>422161</b>
1992	30.598	84.431	11	787	264.087	54.977	69.348	2	20	1.136	<b>507389</b>
1993	22.214	65.042	19	644	224.313	67.520	35.121	1	6	620	<b>417493</b>
1994	18.742	81.880	17	751	289.794	111.568	25.033	1	18	1.130	<b>530928</b>
1995	14.587	95.156	14	1.267	258.596	141.815	23.030	1	35	2.404	<b>538900</b>
1996	13.315	117.822	11	1.769	304.672	217.543	22.133	4	37	2.565	<b>681867</b>
1997	14.869	153.347	13	2.392	375.115	309.608	32.211	0	54	4.173	<b>893779</b>
1998	15.661	187.092	19	2.612	453.118	453.594	44.278	4	103	5.652	<b>1164131</b>
1999	17.511	230.468	27	3.268	554.205	606.509	56.255	1	125	8.143	<b>1478511</b>
2000	16.665	233.638	58	2.847	546.653	651.071	58.839	9	111	9.354	<b>1521245</b>
2001	18.610	230.768	53	3.107	604.927	670.468	55.983	10	92	10.565	<b>1596584</b>
2002	14.534	224.960	70	2.869	504.308	699.138	55.541	11	91	10.898	<b>1514422</b>
2003	14.965	260.727	33	2.977	503.852	807.211	68.809	25	93	12.274	<b>1672969</b>

<sup>4</sup> Standardized Nomenclature for Air Pollutants

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

2004	15.636	297.147	21	3.498	501.715	973.735	115.098	66	91	14.653	<b>1923664</b>
2005	14.210	344.120	13	4.002	476.926	1.044.417	210.044	152	114	17.108	<b>2113111</b>
2006	14.807	351.179	32	3.690	454.821	1.056.025	264.778	108	64	18.405	<b>2165915</b>
2007	12.820	352.430	41	3.835	433.436	1.035.509	276.107	133	72	20.877	<b>2137267</b>
2008	6.826	196.251	9	3.733	321.345	732.509	216.509	65	38	15.027	<b>1494320</b>
2009	4.565	124.291	10	2.852	277.234	646.770	137.865	51	31	5.502	<b>1201180</b>
2010	3.977	136.467	17	2.390	270.874	663.136	139.490	47	38	7.125	<b>1225571</b>
2011	3.529	126.165	15	2.540	239.307	547.118	122.923	48	32	9.982	<b>1053670</b>
<b>TOTAL</b>	<b>582.725</b>	<b>4.476.049</b>	<b>783</b>	<b>60.669</b>	<b>10.510.112</b>	<b>11.763.255</b>	<b>2.793.794</b>	<b>2.220</b>	<b>1.661</b>	<b>194.280</b>	

*Tabla 2.1: composición del parque automotor español. Fuente: Dirección General de Tráfico.*

En el anteriormente citado informe se recogen igualmente estimaciones muy acertadas acerca del consumo de combustible en función del tipo (gasóleo, gasolina, GNC, GLP...). Es de suma importancia conocer el consumo aproximado del parque, tanto en cantidades como en tipos, pues dependiendo de ambas variables los niveles de emisión así como los tipos de contaminantes emitidos varían en gran medida. En la siguiente tabla se recogen los datos de este tipo, en kilo toneladas.

AÑO	GASÓLEO			GASOLINA				GLP	GAS NATURAL
	TOTAL	FÓSIL	BIOGÉNICA (BIODIÉSEL)	TOTAL	SIN PLOMO (FÓSIL)	CON PLOMO (FÓSIL)	BIOGÉNICA (BIOETANOL)		
1990	7.974	7.974	0	8145	98	8.047	0	26	0
1991	8.501	8.501	0	8534	233	8.301	0	40	0
1992	8.880	8.880	0	9194	362	8.832	0	50	0
1993	8.961	8.961	0	8851	983	7.868	0	60	0
1994	9.617	9.617	0	9160	1.508	7.652	0	65	0
1995	10.502	10.502	0	8534	2.266	6.268	0	74	0
1996	11.179	11.179	0	9093	3.154	5.939	0	76	0
1997	11.513	11.513	0	8970	3.645	5.325	0	80	2
1998	13.470	13.470	0	9007	4.286	4.721	0	85	4
1999	14.734	14.734	0	8928	4.823	4.105	0	75	7
2000	15.849	15.769	80	8524	5.415	3.109	0	75	9
2001	17.097	17.017	80	8481	7.289	1.192	0	72	11
2002	18.065	17.990	75	8206	8.094	0	112	72	13
2003	19.504	19.401	103	8040	7.886	0	154	71	15
2004	20.870	20.757	113	7650	7.534	0	116	73	17
2005	22.020	21.858	162	7437	7.260	0	177	45	19
2006	23.160	23.097	63	7107	6.928	0	179	41	21
2007	24.546	24.243	303	6846	6.669	0	177	40	33
2008	23.727	23.139	588	6287	6.143	0	144	13	38
2009	22.601	21.574	1.027	6002	5.765	0	237	16	44
2010	22.341	20.997	1.344	5671	5.311	0	360	19	55
2011	21.625	19.957	1.668	5293	4.941	0	352	21	61

*Tabla 2.2: Evolución del consumo anual de carburante. Fuente: Eurostat. Ministerio de Economía.*



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

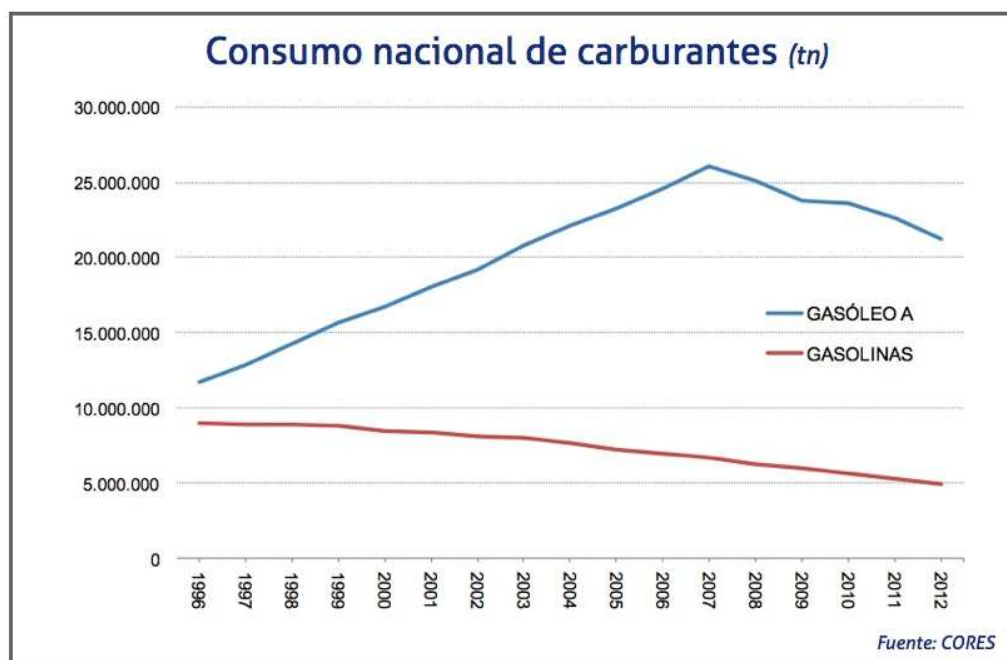


Figura 2.12: evolución del consumo de carburantes en España.

A la vista de la anterior gráfica podemos observar que el consumo de gasóleo se ha incrementado de forma notable mientras el de la gasolina ha ido cayendo de forma constante y paulatinamente. Esto tiene consecuencias inevitables para las emisiones a la atmósfera, baste citar un ejemplo es que la OMS ha calificado al humo de escape de los motores diésel como cancerígeno.

Como el consumo y las emisiones vehiculares dependen fuertemente de las condiciones en que estas se realicen y del monto total de la distancia recorrida, los datos se han calculado en base a las estimaciones de pautas de conducción y distancias recogidas en las siguientes tablas:

CATEGORÍA	VELOCIDAD (km/h) SEGÚN PAUTA DE CONDUCCIÓN		
	INTERURBANA	RURAL	URBANA
CICLOMOTORES	NO APLICABLE	45	25
LIGEROS	100	65	25
MOTOCICLETAS	105	65	25
TURISMOS	105	65	25

Tabla 2.3: pauta estimada de conducción. Fuente: inventario nacional de emisiones.

AÑO	RED ESTATAL	RED CC.AA.	DIPUTACIONES
1990	64.730.195		
1991	68.070.310		
1992	74.299.400		
1993	76.363.110		
1994	80.092.315		
1995	82.780.540		

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

1996	85.329.700	71.895.069	15.192.877
1997	89.476.100	73.494.119	15.903.208
1998	96.128.955	76.958.676	14.875.500
1999	100.307.475	85.691.557	15.404.133
2000	104.802.450	90.316.951	18.066.577
2001	110.838.820	93.531.617	13.536.359
2002	114.752.350	97.945.491	15.477.822
2003	119.528.740	100.930.346	15.661.744
2004	122.529.040	104.357.804	14.708.396
2005	125.722.060	104.426.926	14.792.399
2006	129.021.295	103.290.320	15.351.700
2007	133.249.900	107.198.265	16.090.537
2008	128.835.647	107.675.505	15.342.790
2009	125.679.200	104.900.740	18.230.225
2010	123.575.000	101.722.202	15.758.384
2011	121.638.700	100.394.531	13.944.680

**Tabla 2.4: estimación de kilómetros recorridos. Fuente: Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.**

A continuación podemos observar también la distribución por tipo de vehículo en cuanto a kilómetro recorrido, dado que nuestro análisis se centra fundamentalmente alrededor de los vehículos de turismo, es interesante observar como estos realizan aproximadamente alrededor del 80% del kilometraje total. Aunque el gráfico expresa la proporción en carreteras del estado, la proporción es extrapolable tanto a las autonómicas como a las diputacionales.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

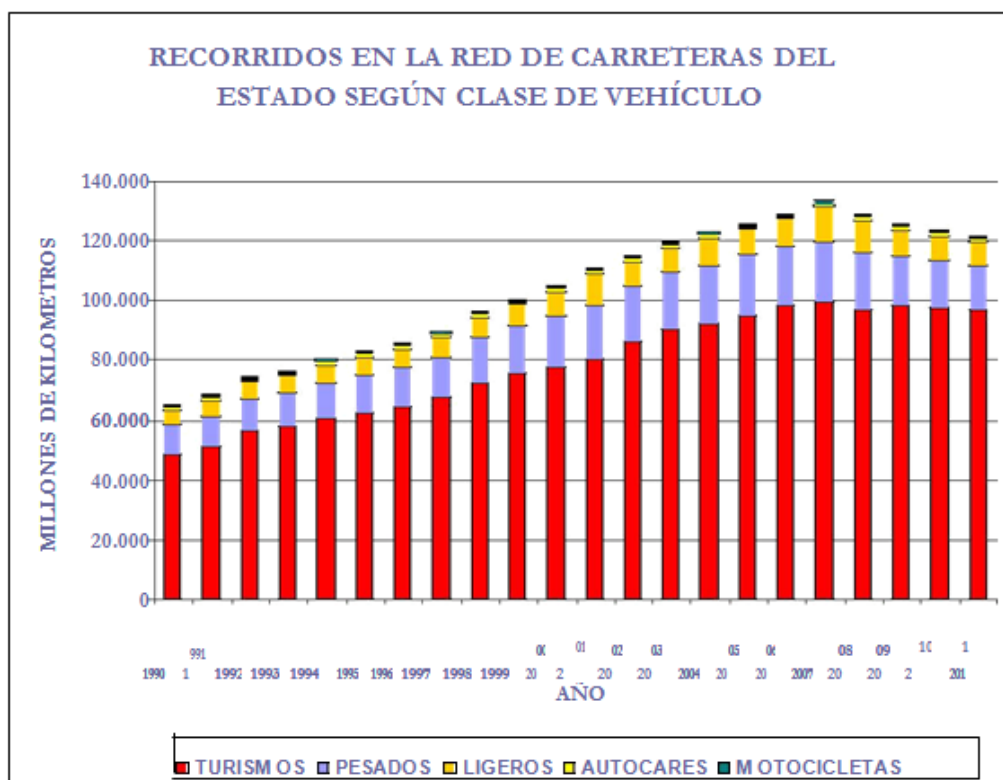


Figura 2.12: Distribución del kilometraje por tipo de vehículo. Fuente: inventarios nacionales.

A modo de resumen de los datos anteriormente observados podemos citar varias cosas:

- La práctica totalidad de los camiones y autobuses en servicio con menos de 10 años son diésel, así como la práctica totalidad de los tractores agrícolas en servicio.
- Casi el 80% de los automóviles de turismo vendidos en la actualidad son diésel, aunque actualmente en el parque de turismos estos representan apenas un 12% más que los de gasolina.
- La crisis económica surgida a finales de 2007 ha provocado la reducción de las matriculaciones de vehículos nuevos a prácticamente la mitad que en 2006.
- Existen alrededor de 22.000.000 de automóviles de turismo para unos 47.000.000 millones de habitantes, esto es, casi 1 vehículo automóvil por cada 4 habitantes y casi 5.000.000 de camiones entre pesados y ligeros.
- La edad media del parque automovilístico español ronda los 10 años en el caso de turismos y se va acentuando a medida que persiste la crisis económica.
- El consumo de gasóleo para automoción en España prácticamente cuadruplica al consumo de gasolina.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- Hasta hace 10 años la presencia de combustibles de tipo “bio” era prácticamente inexistente, siendo en la actualidad de alrededor del 7%, tanto en gasolina como en gasóleo.
- El desarrollo del GNC y GLP en España es prácticamente testimonial, suponiendo apenas un 0,5% respecto del total de gasolina consumida.
- El número de kilómetros recorridos en España se ha multiplicado por 3 en los últimos 20 años.
- El 80% del kilometraje total realizado corresponde a automóviles de turismo particulares.

Una vez expuesto todo lo anterior y obtenidas unas conclusiones a modo de resumen con los datos útiles necesarios, vamos a adjuntar las tablas que resultan de estimaciones de emisiones vehiculares en España, pero ciñéndonos fundamentalmente a la parte correspondiente a los vehículos de turismo y vehículos comerciales ligeros por ser estas lo más interesante teniendo en cuenta la razón que nos ocupa. Igualmente el cómputo de emisiones totales es interesante para conocer en profundidad el monto total de estas que vierte el sistema de transporte por carretera en España al completo.

## Emisiones producidas por los vehículos de turismo y comerciales ligeros.

		ACIDIFICADORES, PRECURSORES DEL OZONO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO							
CLASE DE VEHÍCULO		SO2 (t)	NOX (t)	COVNM (t)	CH4 (t)	CO (t)	CO2 (kt)	N2 O (t)	NH3 (t)
COMERCIAL LIGERO	GASÓLEO	28,00	21.126,00	1.367,00	34,00	10.807,00	5.505,00	152,50	22,40
COMERCIAL LIGERO	GASOLINA	-	54,00	19,00	5,00	980,00	75,00	2,40	12,90
TURISMO	GASÓLEO	173,00	136.177,00	2.706,00	266,00	18.480,00	34.058,00	1.456,30	211,60
TURISMO	GASOLINA	72,00	14.366,00	8.914,00	1.680,00	109.775,00	14.360,00	249,60	3.375,20
TURISMO	GLP		26,00	6,00	1,00	178,00	63,00	1,90	
TOTAL		273,00	171.749,00	13.012,00	1.986,00	140.220,00	54.061,00	1.862,70	3.622,10

Tabla 2.5: Total de emisiones de gases precursores del ozono y gases de efecto invernadero por turismos. Fuente: elaboración propia a partir de las tablas de inventario nacional.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

CLASE DE VEHÍCULO		METALES PESADOS								
		As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
COMERCIAL LIGERO	GASÓLEO	0,2	16,5	55,7	39	9,3	16,7	731	0,2	3.296
COMERCIAL LIGERO	GASOLINA	0	0,3	0,4	1	0,2	0,3	94	0	54
TURISMO	GASÓLEO	1,1	102	344,3	244	57,4	103,1	4.519	1,1	20.375
TURISMO	GASOLINA	1,4	52	73,2	200	39,2	61,9	18.158	0,9	10.419
	TOTAL	2,70	170,80	473,60	484,00	106,10	182,00	23.502,00	2,20	34.144,00

*Tabla 2.6: Total de emisiones de metales pesados de vehículos de turismo y comerciales ligeros.*

CLASE DE VEHÍCULO		COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES		PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN		
		DIOX (g)	HAP (kg)	PST (t)	PM10 (t)	PM25 (t)
COMERCIAL LIGERO	GASÓLEO	0,034	861	1.446	1.446	1.446
COMERCIAL LIGERO	GASOLINA	0,008	1	0	0	0
TURISMO	GASÓLEO	0,317	8.141	6.986	6.986	6.986
TURISMO	GASOLINA	2,285	384	99	99	99
TURISMO	GLP		0	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>2,64</b>	<b>9.387,00</b>	<b>8.531,00</b>	<b>8.531,00</b>	<b>8.531,00</b>

*Tabla 2.7: Total de emisiones de compuestos orgánicos y partículas en suspensión de turismos y vehículos comerciales ligeros. Fuente: elaboración propia a partir de las tablas de inventario nacional.*

## Emisiones totales del parque de vehículos a motor en España.

Podemos comparar los datos observados en las tablas anteriores con los datos totales de emisiones del sistema de transporte español por carretera:

COMBUSTIBLE	ACIDIFICADORES, PRECURSORES DEL OZONO Y							
	GASES DE EFECTO INVERNADERO							
	SO <sub>2</sub> (t)	NOX (t)	COVNM (t)	CH <sub>4</sub> (t)	CO (t)	CO <sub>2</sub> (kt)	N <sub>2</sub> O (t)	NH <sub>3</sub> (t)
GAS NATURAL		1348	13	359	319	166	13	

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

GASÓLEO	319	319.096	7.614	1.093	63.063	62.814	2.218	
GASOLINA	79	16.671	22.688	2.583	171.740	15.846	279	
GLP		26	6	1	178	63	2	
<b>TOTAL</b>	<b>398,00</b>	<b>337.141,00</b>	<b>30.321,00</b>	<b>4.036,00</b>	<b>235.300,00</b>	<b>78.889,00</b>	<b>2.512,00</b>	<b>3.737</b>

*Tabla 2.8: Emisiones totales de gases precursores del ozono y de efecto invernadero del sistema de transporte español por carretera.*

CLASE DE VEHÍCULO	METALES PESADOS								
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
GASÓLEO	2	188,1	634,6	448,9	105,8	190	8.329,20	2	37.554,20
GASOLINA	1,5	57,1	80,4	219,7	43	68	19.931,30	1	11.437,10
<b>TOTAL</b>	<b>3,50</b>	<b>245,20</b>	<b>715,00</b>	<b>668,60</b>	<b>148,80</b>	<b>258,00</b>	<b>28.260,50</b>	<b>3,00</b>	<b>48.991,30</b>

*Tabla 2.9: Emisiones totales de metales pesados del sistema de transporte español por carretera.*

COMBUSTIBLE	PERSISTENTES		PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN		
	DIOX (g)	HAP (kg)	PST (t)	PM10 (t)	PM25 (t)
GAS NATURAL			1,32	1,32	1,32
GASÓLEO	0,67	10.057,36	10.881,26	10.881,26	10.881,26
GASOLINA	2,68	451,25	271,85	271,85	271,85
GLP		0,49	0,45	0,45	0,45
<b>TOTAL</b>	<b>3,35</b>	<b>10.509,11</b>	<b>11.154,87</b>	<b>11.154,87</b>	<b>11.154,87</b>

*Tabla 2.10<sup>5</sup>: Emisiones totales de compuestos orgánicos y partículas en suspensión del sistema de transporte español por carretera.*

### Emisiones totales nacionales.

Igualmente podemos tomar del citado informe de inventario nacional de emisiones el total estimado de emisiones a nivel nacional para realizar una comparación similar a la anterior con éste, es decir, estimar que proporción de las emisiones totales en España son causadas por los vehículos de turismo:

<sup>5</sup> En Inventarios Nacionales se considera igual la emisión de partículas PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

ACIDIFICADORES, PRECURSORES DEL OZONO Y GASES DE EFECTO INVERNADERO							
SO2 (t)	NOX (t)	COVNM (t)	CH4 (t)	CO (t)	CO2 (kt)	N2 O (t)	NH3 (t)
540.512,83	1.060.105,87	1.934.075,15	1.658.815,04	1.946.180,74	284.407,33	77.471,70	386.682,42

*Tabla 2.11: total de emisiones a nivel nacional de gases precursores del ozono y gases de efecto invernadero.*

METALES PESADOS								
As (kg)	Cd (kg)	Cr (kg)	Cu (kg)	Hg (kg)	Ni (kg)	Pb (kg)	Se (kg)	Zn (kg)
14.520,82	9.821,83	31.139,46	223.987,46	6.667,55	189.760,94	185.070,51	70.539,95	389.140,70

*Tabla 2.12: total de emisiones a nivel nacional de metales pesados.*

PERSISTENTES		PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN		
DIOX (g)	HAP (kg)	PST (t)	PM10 (t)	PM25 (t)
112,28	218.396,64	75.769,97	107.110,70	158.890,85

*Tabla 2.13: total de emisiones de partículas a nivel nacional.*

**Relación representada por las emisiones de los vehículos de turismo y comerciales ligeros frente al total de emisiones del sistema nacional de transporte por carretera.**

A la vista de lo anterior, podemos representar la proporción que suponen los vehículos comerciales ligeros y turismos respecto al total de emisiones del sistema de transporte español:

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

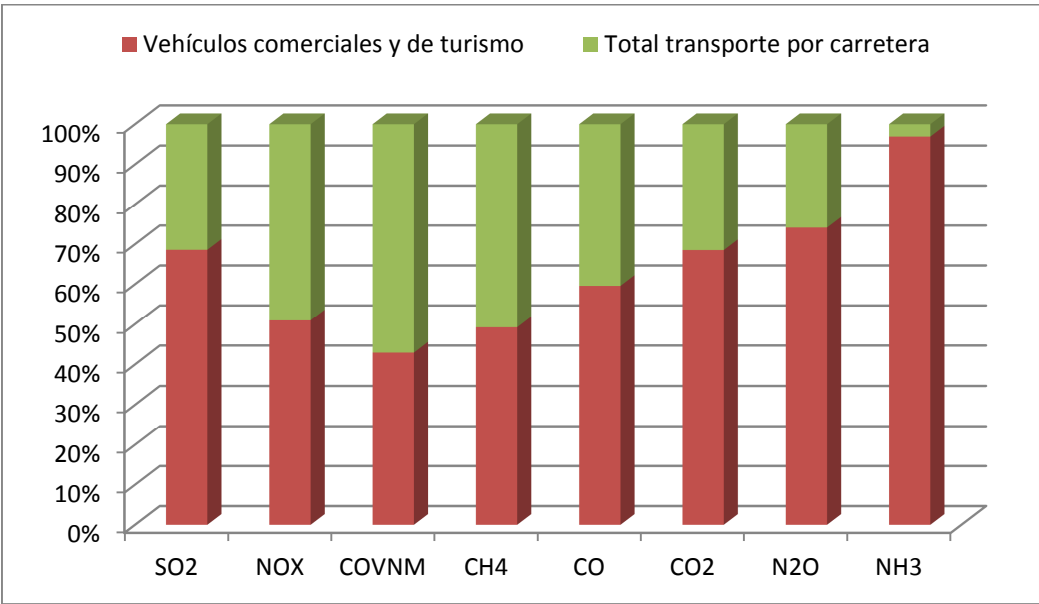


Figura 2.13: proporción entre las emisiones de vehículos comerciales ligeros y turismos respecto del total del sistema de transporte nacional por carretera en cuanto a gases precursoros de ozono y gases de efecto invernadero.

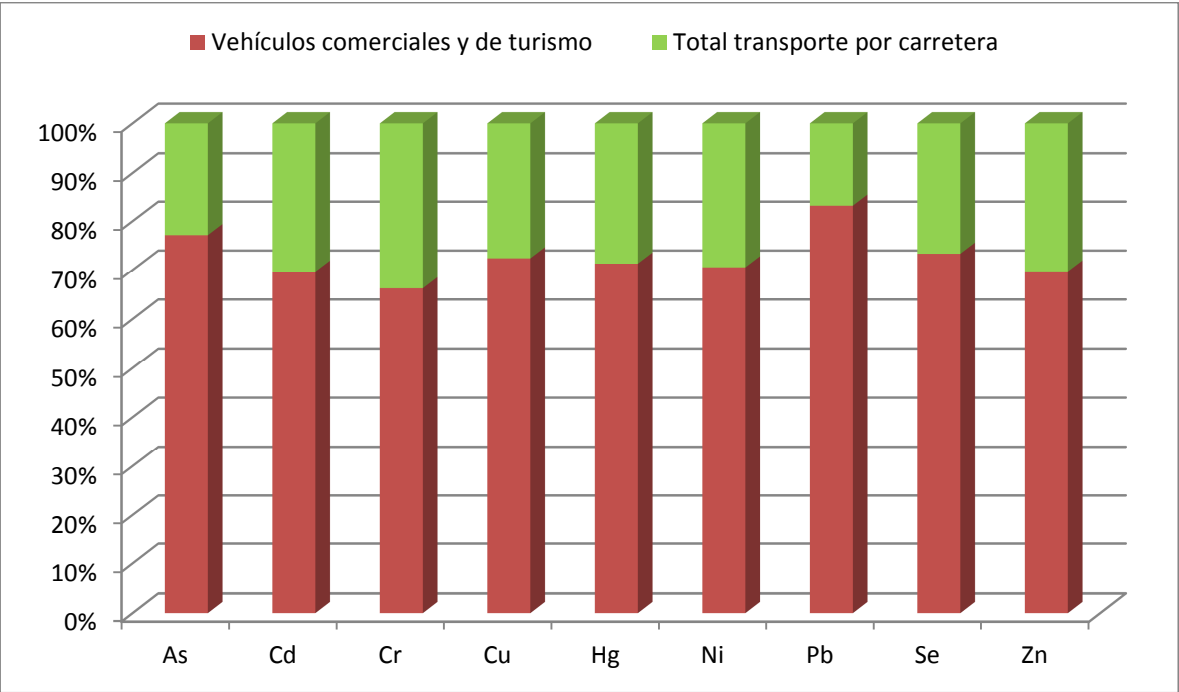
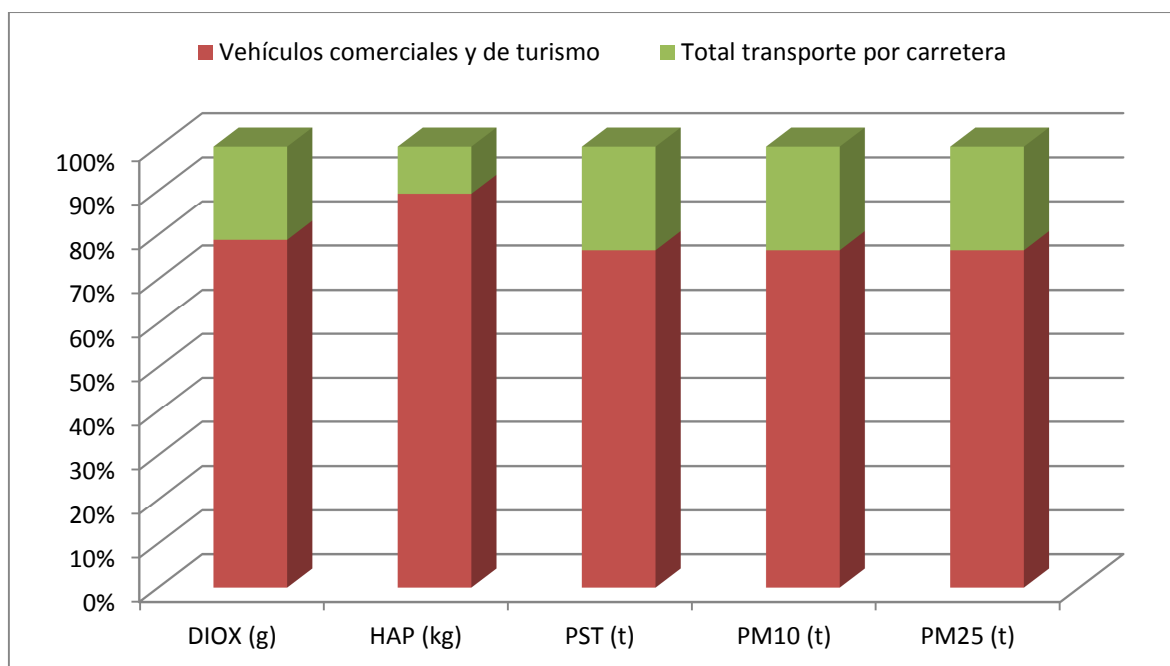


Figura 2.14: proporción entre las emisiones de vehículos comerciales ligeros y turismos respecto del total del sistema de transporte nacional por carretera en cuanto a metales pesados.



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

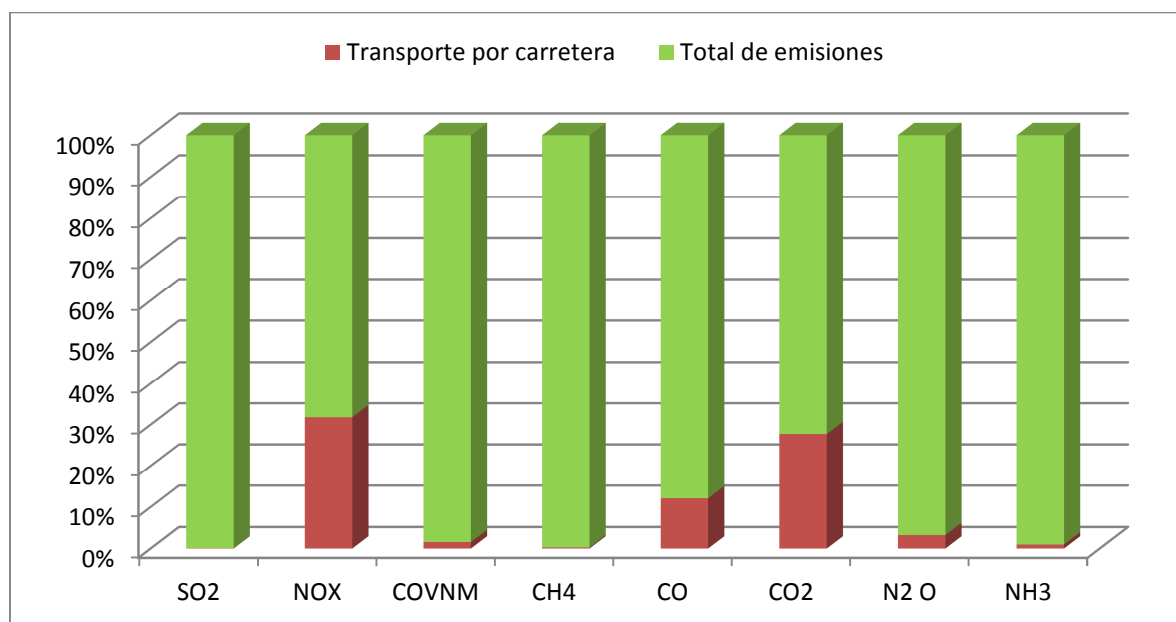


**Figura 2.15:** proporción entre las emisiones de vehículos comerciales ligeros y vehículos de turismo respecto del total del sistema de transporte nacional por carretera en cuanto a partículas y compuestos volátiles.

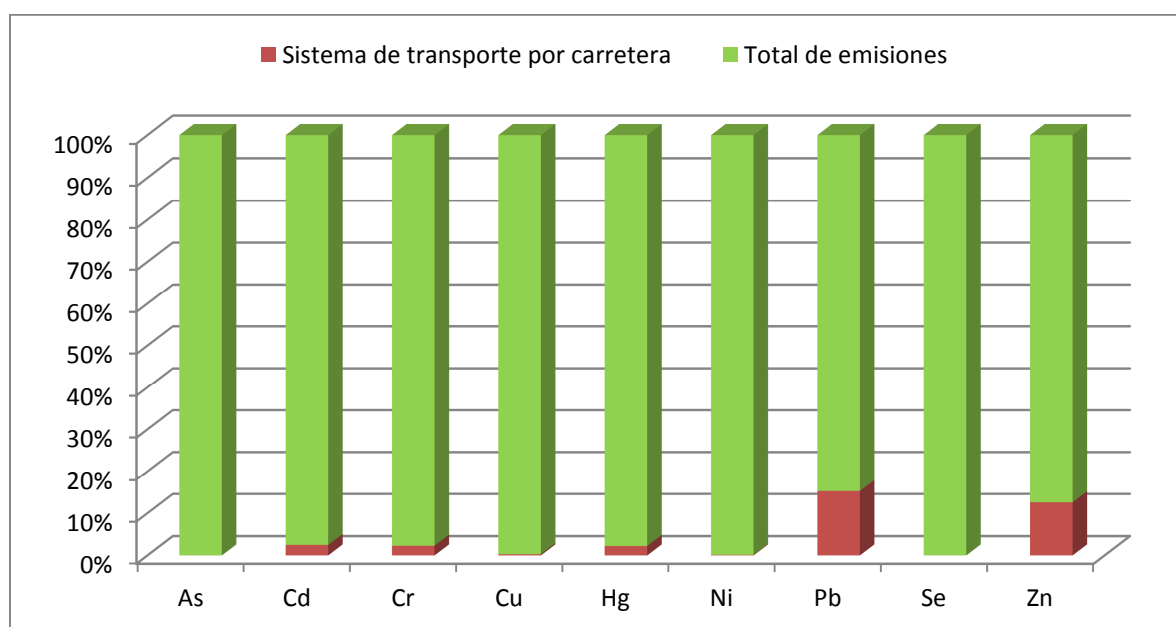
Observando los gráficos anteriores, determinamos que respecto del total de emisiones del sistema de transporte por carretera en España, los automóviles de turismo y vehículos comerciales ligeros suponen en la mayoría de los tipos de emisión valores en torno al 70% o incluso superiores, así, en el caso del CO<sub>2</sub>, considerado uno de los principales causantes del llamado efecto invernadero, supone un 67% respecto del total. En el caso del amoníaco, observamos que las emisiones de turismos y comerciales ligeros suponen alrededor del 95% de las emisiones de dicho gas para todo el sistema de transporte por carretera en España. En el caso de las partículas, en todos los indicadores las emisiones provenientes de este subgrupo suponen más del 80% sobre el total.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

**Relación de las emisiones del sistema nacional de transporte por carretera respecto del total de emisiones nacional.**



**Figura 2.16:** relación (%) entre las emisiones realizadas por el sistema nacional de transporte por carretera frente al total nacional de emisiones en cuanto a gases precursores del ozono y gases de efecto invernadero.



**Figura 2.17:** relación (%) entre las emisiones realizadas por el sistema nacional de transporte por carretera frente al total nacional de emisiones en cuanto a metales pesados.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Nota: es de destacar se han omitido las emisiones según nomenclatura SNAP 0707 y SNAP 0708 que corresponden con *Desgaste de neumáticos y frenos y abrasión del pavimento*, que no se consideran por no ser emisiones de escape propias de un MACI sino provocadas por el normal funcionamiento de cualquier vehículo automóvil cualquiera que sea su forma

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

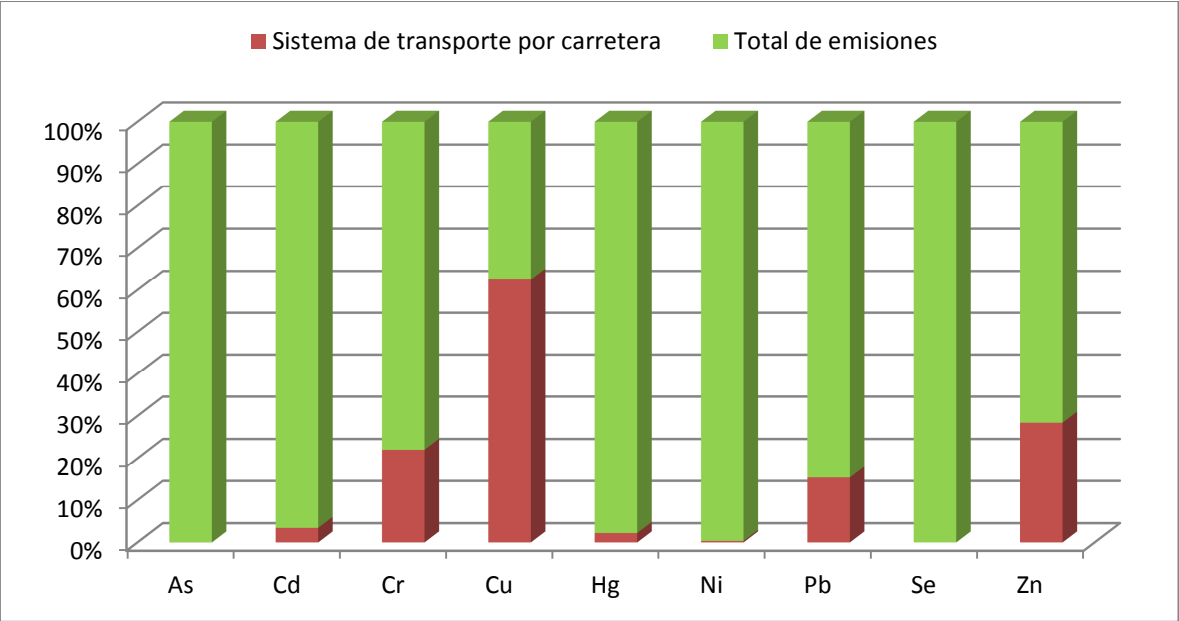


Figura 2.18: relación (%) entre las emisiones realizadas entre las emisiones realizadas por el sistema nacional de transporte por carretera frente al total nacional de emisiones en cuanto a metales pesados si incluimos el desgaste de frenos y de neumáticos y pavimento.

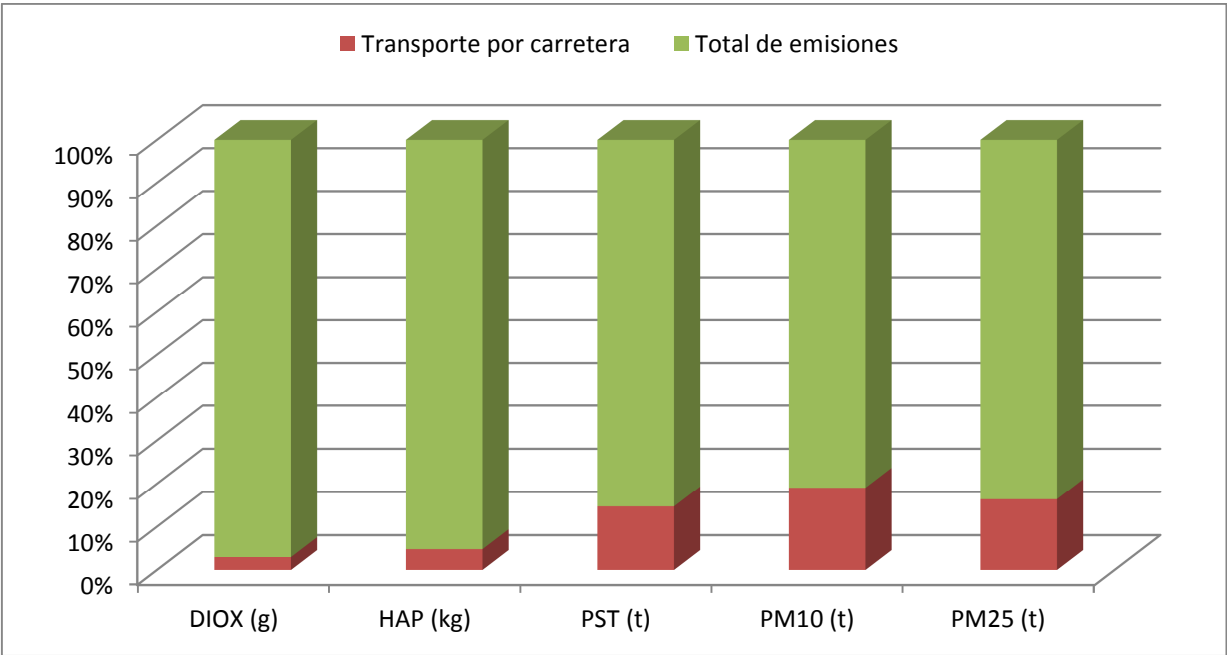


Figura 2.19: relación (%) entre las emisiones realizadas por el sistema nacional de transporte por carretera frente al total nacional de emisiones en cuanto a compuestos orgánicos persistentes y partículas en suspensión.

de propulsión. No obstante pueden ser responsables de incrementar hasta un 50% la relación de emisiones respecto del total en metales como el Cu o el Cr o hasta un 25% las emisiones de partículas.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

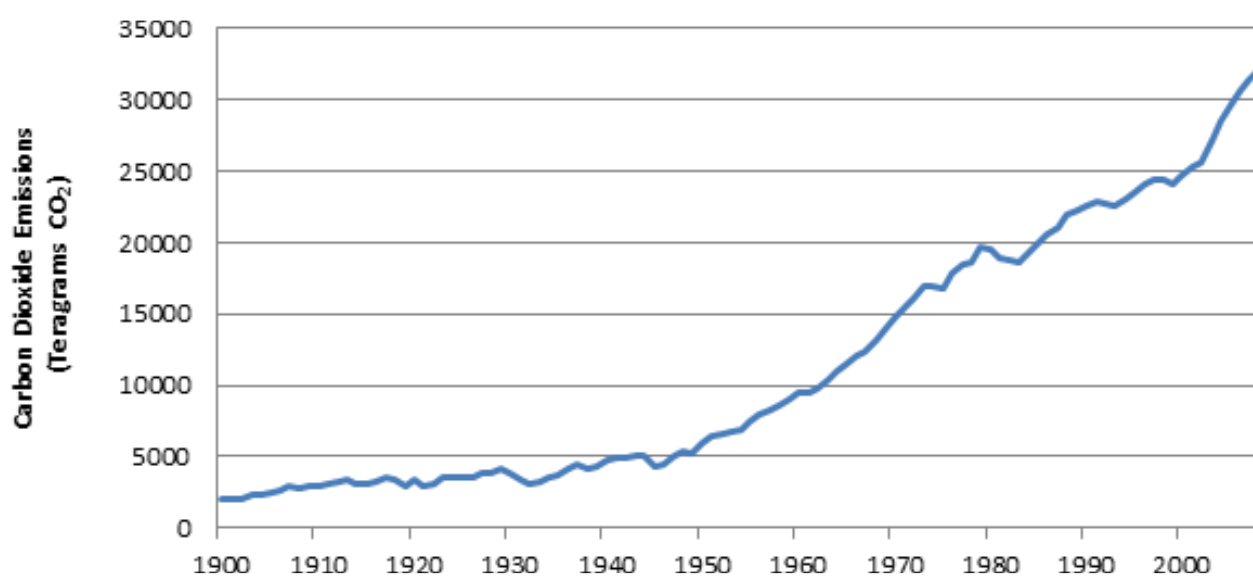
Así, según lo anteriormente expuesto, el parque automovilístico español está compuesto por alrededor de 22.000.000 de vehículos de turismo, de los cuales los que utilizan como combustible el gasóleo suponen alrededor del 55%, aunque en los últimos años la tendencia es hacia un 75-25 en porcentajes de utilización de gasóleo sobre gasolina. Así mismo, existen algo más de 5.000.000 de camiones de todo tipo, compuestos en un 80% por motores de ciclo diésel y en la actualidad la tendencia del mercado en ventas es hacia un 95% de motorizaciones diésel. Igualmente existen alrededor de 3.000.000 de motocicletas que en su práctica totalidad consumen gasolina. Existen también alrededor de 200.000 tractores agrícolas e industriales así como unos 70.000 autobuses, de nuevo en su práctica totalidad movidos por gasóleo.

Del total de emisiones estimadas para España, podemos distinguir varios aspectos importantes: por un lado, el sistema de transporte por carretera español supone alrededor de un 25% del total de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, siendo este uno de los principales gases causantes del llamado *efecto invernadero* y alrededor de un 67-70% de las emisiones del sistema de transporte provienen directamente de los vehículos de turismo y los vehículos comerciales ligeros. Igualmente, del total de emisiones de NO<sub>x</sub>, óxidos de nitrógeno, gases que principalmente el monóxido y el dióxido de nitrógeno son considerados tóxicos (aunque de baja toxicidad) y causantes del conocido smog urbano en las grandes ciudades el sistema de transporte por carretera es el responsable en un 30% sobre el total, correspondiendo alrededor de un 50% de estas emisiones a los vehículos comerciales ligeros y a los vehículos de turismo. En cuanto a las emisiones de metales pesados, destacan fundamentalmente el plomo y el cinc, aportando el sistema de transporte por carretera alrededor del 10% de ambos al total de emisiones y los vehículos de turismo y comerciales ligeros alrededor de un 80 y 70% respectivamente sobre estas emisiones particulares. Si observamos las emisiones de partículas, el sistema español de transporte por carretera contribuye con alrededor del 10-15% de las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> y PST, siendo a su vez los vehículos de turismo y ligeros comerciales los responsables de más del 70% de estas emisiones.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## **2.3.3. La contaminación atmosférica en España debida al sector del transporte por carretera.**

Particularmente en los últimos años la preocupación por el medio ambiente y las consecuencias que la contaminación puede tener sobre la salud de los seres vivos se han incrementado debido a una mayor concienciación fruto de la mayor información disponible. Como hemos visto con anterioridad, el número de vehículos y los kilómetros recorridos por estos se ha incrementado notablemente en los últimos 20 años en España y en la mayoría de países desarrollados. Así mismo, particularmente en la última década, multitud de personas han accedido a un vehículo a motor en países en vías de desarrollo tales como China o la India. Por ello, las emisiones a la atmósfera como consecuencia del uso de los sistemas de transporte con MACI como fuente de potencia se han multiplicado



*Figura 2.20: concentración de dióxido de carbono en la atmósfera a lo largo de los últimos 100 años. Fuente: EPA(USA).*

Como podemos ver en el gráfico anterior la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico según cálculos y estimaciones de la EPA (Environmental Protection Agency) de EE.UU. se ha multiplicado desde principios del s.XX por más de 30 siendo particularmente llamativo el hecho de que a partir de mediados de los años 50 el crecimiento ha pasado a ser prácticamente exponencial excepción hecha del bache de 1973 debido a la caída del consumo por la crisis del petróleo de dicho año.

Una particularidad de las emisiones debidas a los sistemas de transporte y ya comentada con anterioridad es el hecho de que se dan en un entorno urbano fundamentalmente, en las proximidades de las áreas de trabajo y residencia de los seres humanos. Este hecho hace que si bien las emisiones totales debidas al transporte y particularmente a los vehículos de turismo y los vehículos comerciales ligeros no representen respecto del total mas de un 25% en casi ningún caso, su importancia en el ámbito urbano y su incidencia sobre la salud de los seres humanos sea notable.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

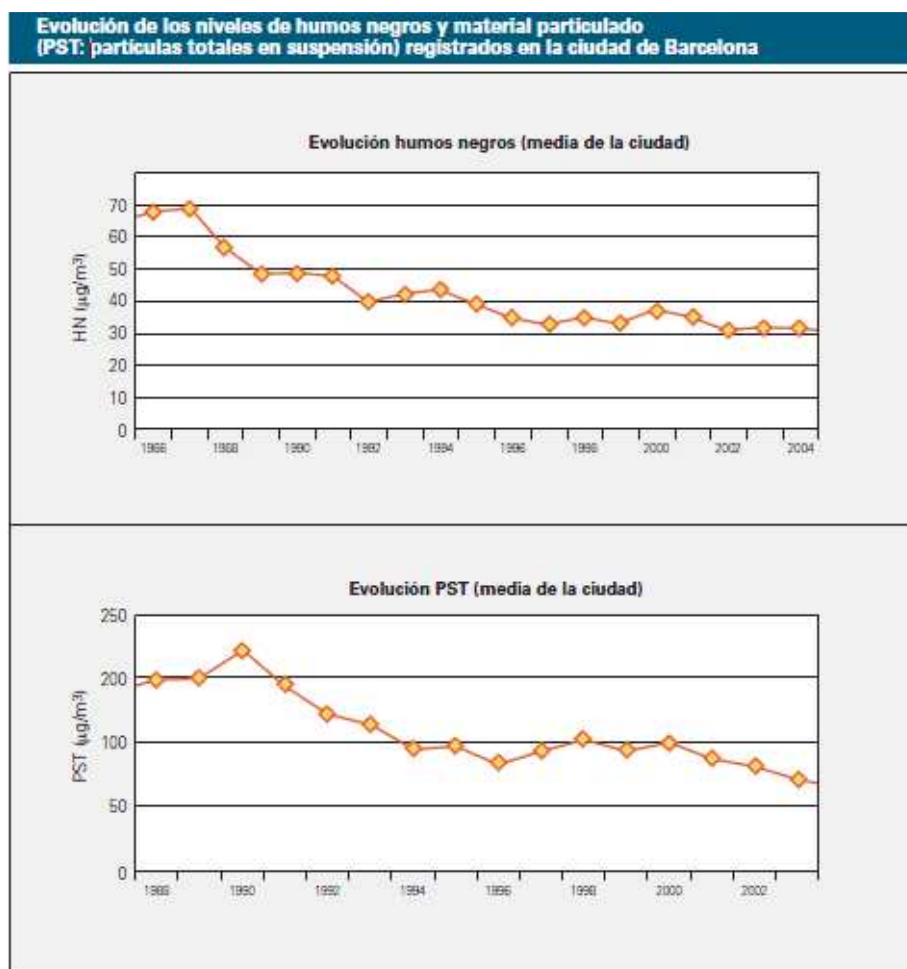
---

PARÁMETRO	T/AÑO	SECTOR DE CONTRIBUCIÓN MÁS IMPORTANTE
SO <sub>2</sub>	3.159,00	Plantas de combustión no industrial (68,5%)
NO <sub>x</sub>	29.337,00	Transporte por carretera (77,0%)
PM <sub>2,5</sub>	1.694,00	Transporte por carretera (81,3%)
PM <sub>10</sub>	2.127,00	Transporte por carretera (74,9%)
CO	94.291,00	Transporte por carretera (91,4%)
Pb	4,94	Transporte por carretera (52,9%)
CO <sub>2</sub>	8.352.000,00	Transporte por carretera (51,1%)

**Tabla 2.13: principales indicadores de contaminación y sector de contribución más importante en el área de Madrid capital. Fuente: Ayto. de Madrid.**

En el caso español además existe una particularidad especialmente importante que se da en casi todo el sur de Europa y es debido al clima, con menores precipitaciones, lo que es especialmente importante en el caso de contaminantes como las partículas, dado que las más pequeñas tienen una menor tasa de deposición y su permanencia en el aire es mayor. Por el contrario, otros países de Europa con un clima más húmedo y lluvioso tienen una concentración en aire menor dado que la lluvia contribuye a la deposición de las mismas.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



**Figura 2.21: Evolución humos negros y PST en la ciudad de Barcelona. Fuente: Ayto. de Barcelona.**

No obstante cabe señalar como desde los años 90 el nivel de partículas totales en suspensión y los llamados humos negros han descendido en la mayoría de las ciudades como consecuencia fundamentalmente de la evolución tecnológica hacia fuentes de combustión de mayor eficiencia así como menos emisiones, pero la alta densidad de población del lugar donde se concentran estas fuentes hace que continúen siendo un problema de salud pública de primera magnitud.

Uno de los contaminantes no mencionado anteriormente por no ser un elemento directo proveniente de las emisiones vehiculares es el ozono, compuesto por tres moléculas de oxígeno. Si bien conocemos el llamado ozono estratosférico por formar lo que se conoce como *capa de ozono* y ser este fundamental para la protección de la vida en la tierra debido a su capacidad para actuar como filtro de los rayos UV, existe también el llamado ozono troposférico, el que se produce y mantiene en la troposfera, entre los 0-20km que ya no cumple tal función protectora y que además en gran concentración y en caso de exposición prolongada resulta altamente tóxico.

El ozono troposférico se forma como consecuencia de lo que se denomina contaminación fotoquímica, con la aparición de sustancias oxidantes; estas se originan al reaccionar los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el oxígeno en presencia de la radiación ultravioleta de los rayos del sol. Igualmente por una serie de reacciones de dichos compuestos puede darse la formación de

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

radicales libres que da lugar al conocido como *smog* una neblina grisácea propia de las grandes ciudades.

En España los niveles de  $\text{NO}_2$  son elevados en numerosas estaciones de control con fuerte componente de tráfico; en numerosas ocasiones dichas estaciones exceden el número de superaciones del valor límite horario permitido por año de acuerdo a la legislación europea vigente (1999/30/CE); además, en una proporción importante se incumplen también los requisitos concernientes al valor límite anual del  $\text{NO}_2$ .

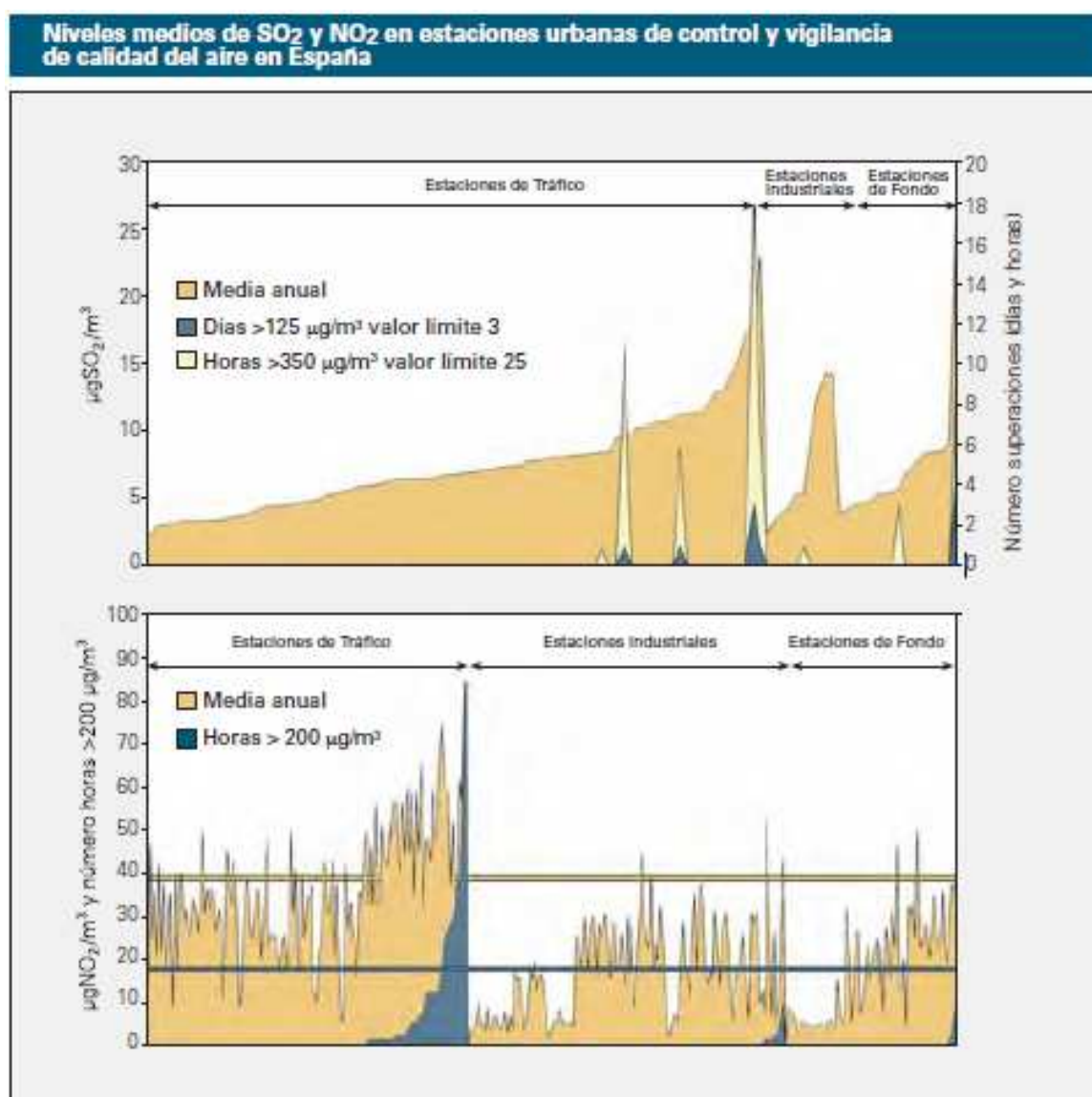


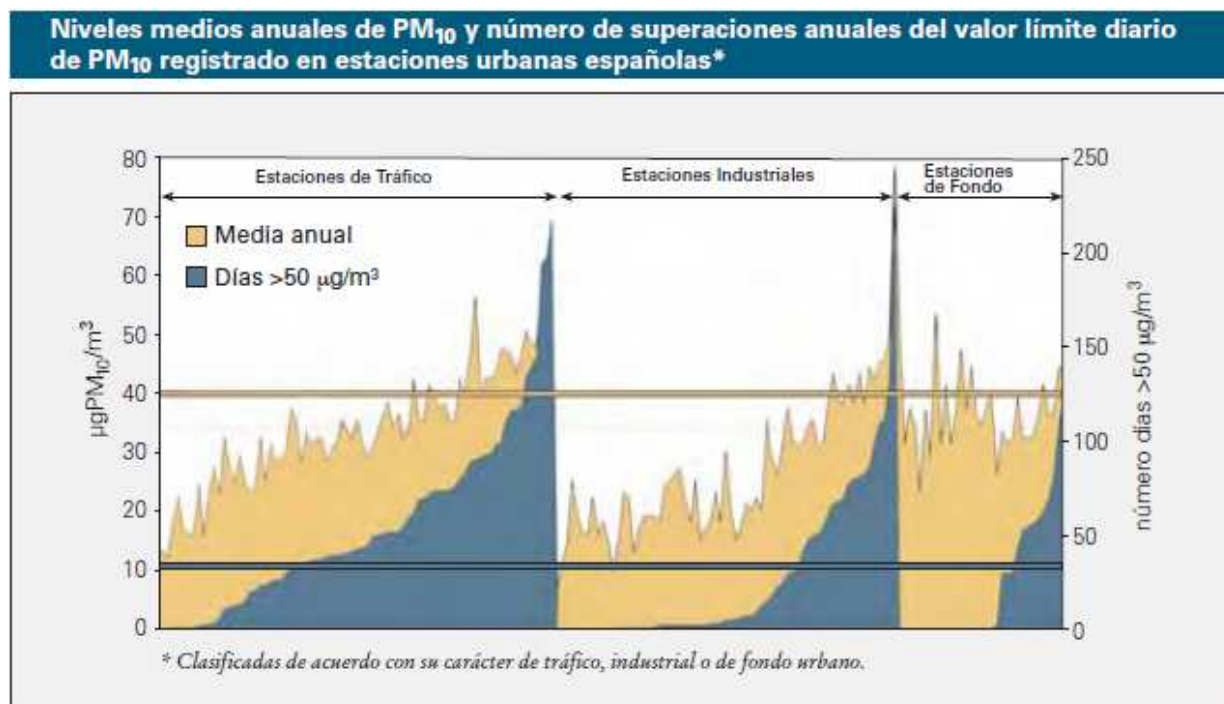
Figura 2.22: Niveles medios de  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  en estaciones urbanas de control de la calidad del aire en ciudades españolas. Fuente: Calidad del aire urbano en España. CSIC.

Por otro lado y como ya hemos mencionado con anterioridad, otro contaminante urbano de especial importancia y muy vinculado al tráfico son las partículas, tanto  $\text{PM}_{2.5}$  como  $\text{PM}_{10}$ , aunque hay que hacer especial mención que parte de ellas proviene del desgaste del pavimento y los



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

neumáticos, factor que no ha sido tenido en cuenta aquí al no provenir de la combustión de un MACI dado que cualquier vehículo, independientemente de su fuente de potencia, que transite por las vías va a provocar dicho desgaste y la aparición de dichas partículas. Además, como también se ha comentado, el clima de algunas regiones de España, como otros países del sur de Europa, favorece el mantenimiento de dichas partículas en suspensión en lugar de su deposición.



**Figura 2.23: Niveles medios de PM<sub>10</sub> en estaciones de control de la calidad del aire en ciudades españolas.**  
**Fuente: Calidad del aire urbano en España. CSIC.**

Al igual que en el caso del NO<sub>2</sub>, las estaciones de control con fondo de tráfico son las que registran con mayor frecuencia superaciones de los valores límites diarios (el máximo permitido es de 35 superaciones anuales, fijadas en 50mg/m<sup>3</sup>).

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

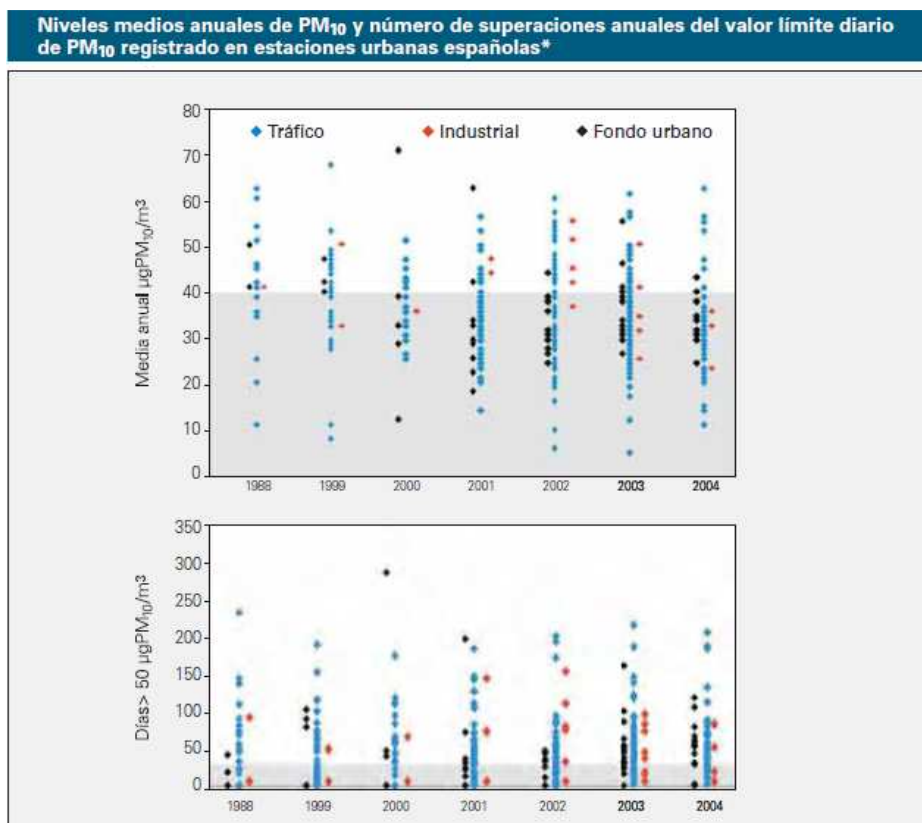


Figura 2.24: Niveles medios anuales de PM<sub>10</sub> y superaciones anuales en las ciudades españolas en función del tipo de estación. Fuente: Calidad del aire urbano en España. CSIC.

Los contaminantes más problemáticos atendiendo a su concentración y efectos perniciosos sobre la salud son las partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)<sup>7</sup>. La población española que respira aire considerado contaminado, ateniéndonos a la directiva comunitaria 2008/50/CE alcanza los 17.3 millones de personas, un 37% de la población total, pero si se tienen en cuenta los valores recomendados por la OMS, más restrictivos que los mostrados en la directiva europea, el porcentaje de la población que respira aire contaminado asciende al 94%, alrededor de 44.1 millones de personas.

Se estima igualmente que los costes económicos que tiene la contaminación en España representan entre un 1.7 y un 4% del PIB nacional<sup>8</sup>.

No es el objeto del presente dar una información detallada de la distribución y superaciones en todas las provincias y todos los tipos de contaminantes atmosféricos provenientes de las emisiones vehiculares, no obstante, para quien ello desee puede consultarse el informe *Calidad del aire en el estado español 2012* que edita ecologistas en acción donde se recoge provincia por provincia y principales ciudades españolas los principales indicadores obtenidos a partir de los datos de la administración (Ministerio de medioambiente).

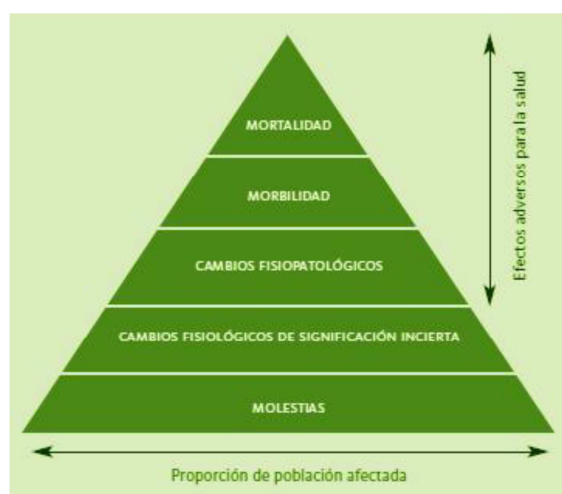
<sup>7</sup> Informe de calidad del aire en el estado español 2012, Ecologistas en Acción.

<sup>8</sup> Observatorio de la sostenibilidad en España, 2007.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## **2.3.4. Efectos de las emisiones sobre la salud humana.**

Dado que estamos hablando de emisiones atmosféricas, es razonable suponer que la principal vía de exposición a dichos contaminantes es la vía aérea. Así, los principales problemas de salud generados por la contaminación atmosférica están relacionados de forma directa con el sistema respiratorio, siendo afecciones de tipo respiratorio, alteraciones de la función pulmonar, cáncer de pulmón y problemas de tipo cardiovascular. El efecto de la contaminación atmosférica tiene una gradación tanto en la gravedad de sus consecuencias como en la población a riesgo afectada, de esta forma, una mayor parte de la población está afectada de efectos menores mientras una parte menor se halla altamente afectada.



*Figura 2.25: relación entre la población afectada y la gravedad de los efectos causados por la contaminación atmosférica. Fuente: Observatorio del medio ambiente en España 2010, DKV seguros.*

Los efectos de las PM sobre la salud se producen a los niveles de exposición a los que está sometida actualmente la mayor parte de la población urbana mundial tanto en países en vías de desarrollo como en países desarrollados. La exposición crónica a estos niveles de partículas aumenta el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y respiratorias así como el cáncer de pulmón. La mortalidad en ciudades con niveles elevados de contaminación supera entre un 15 y un 20% la registrada en ciudades más limpias, incluso se estima que en la UE la esperanza de vida promedio es de 8.6 meses inferior debido a la exposición a las PM<sub>2.5</sub> generadas por la actividad humana.

En el caso del NO<sub>2</sub>, en concentraciones elevadas (200mg/m<sup>3</sup>) es un gas tóxico que causa infecciones en las vías respiratorias; es la fuente principal de los aerosoles de nitrato, que constituyen una parte importante de las PM<sub>2.5</sub> y en presencia de la luz ultravioleta es generador del ozono troposférico. Los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada al NO<sub>2</sub>. La disminución en el desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO<sub>2</sub> registradas en la actualidad en ciudades de países desarrollados de Europa y Estados Unidos.

Las personas con asma pueden presentar cambios en la función pulmonar y síntomas respiratorios tras estar expuestos a altas concentraciones de SO<sub>2</sub> durante tan sólo 10 minutos. El SO<sub>2</sub>

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares y además causa irritación en los ojos. La inflamación del sistema respiratorio causa tos, secreciones mucosas y agravamientos del asma y la bronquitis crónica; igualmente, aumenta la posibilidad de contraer infecciones respiratorias. Está demostrado que los ingresos hospitalarios aumentan los días en que los niveles de  $\text{SO}_2$  son más elevados y en combinación con el agua atmosférica se transforma en ácido sulfúrico, principal componente de la conocida como lluvia ácida que provoca la deforestación.

El ozono troposférico puede causar problemas respiratorios, producir asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares. Es uno de los contaminantes más peligrosos en Europa, se ha probado que la mortalidad en días de altas concentraciones aumenta entre un 0.3 y un 0.4% con tan sólo un aumento de  $10\text{mg/m}^3$ .<sup>9</sup>

Podemos concluir entonces que el tráfico rodado es responsable aproximadamente del 70% de los contaminantes presentes en el entorno urbano y responsable directo de multitud de problemas de tipo respiratorio y cardiovascular. Aunque a veces sus efectos no sean perceptibles o reconocibles de forma directa, en la actualidad la población urbana (la mayor parte de la población en países desarrollados) se encuentra expuesta a dichos contaminantes de forma crónica, viéndose su esperanza de vida reducida por este hecho.

## **2.4. Los factores geopolíticos en el mercado petrolífero.**

Otro de los factores a tener en cuenta en cuanto al uso de los combustibles de origen fósil (petróleo y sus derivados) es lo que se conoce como geopolítica del petróleo. Hace referencia a la política a nivel internacional derivada de la extracción, refinado y uso de este material y sus consecuencias pueden ser sumamente importantes para la mayor parte de la población mundial dada la dependencia energética de este tipo de combustibles debido a diversos factores que estudiaremos a continuación.

La OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) se fundó en Irak el 14 de Septiembre de 1960 en el marco del primer congreso petrolero árabe, siendo sus socios integrantes inicialmente Irán, Irak, Kuwait, Arabia Saudí y Venezuela, a instigación del primer ministro venezolano, con el objetivo de buscar la unión de los principales países productores de crudo y poder influir en el mercado del mismo, hasta entonces en mano de las principales compañías petroleras occidentales.

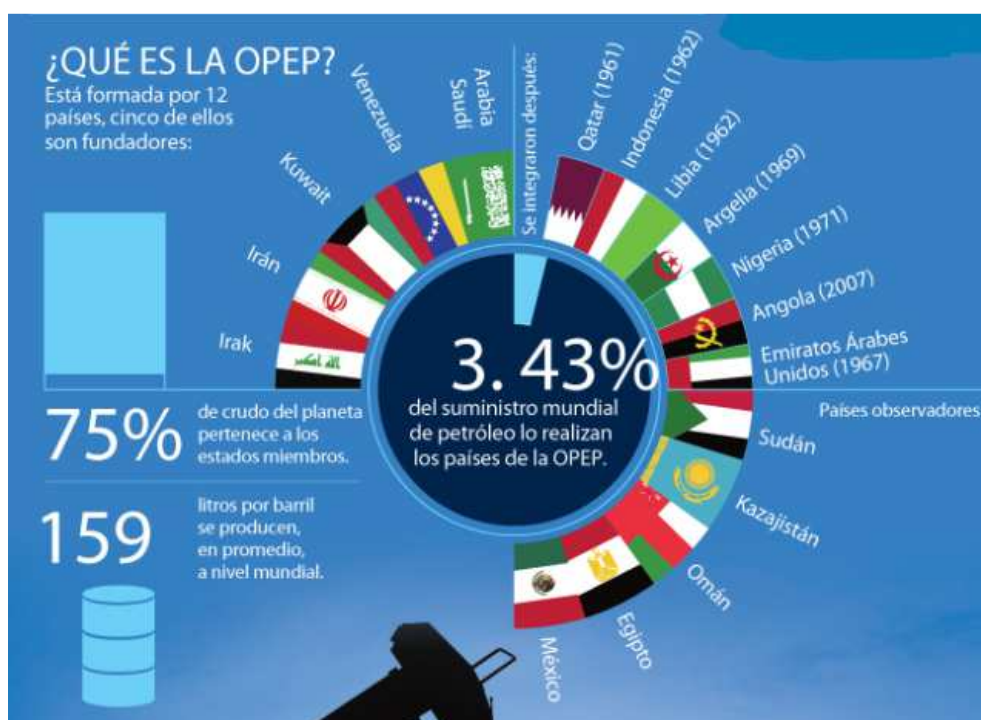
La OPEP surgió con la idea de poder hacer frente al control que ejercían dichas compañías petroleras con total independencia de los países productores que se limitaban hasta entonces por lo común a regular la extracción de crudo en su territorio, pero con un prácticamente nulo control sobre el precio o la producción del mismo en el mercado a nivel mundial. Surgió entonces, tras vislumbrar la gran dependencia que un petróleo barato había causado sobre las economías occidentales, la posibilidad de utilizar este como instrumento de control económico y de presión política.

---

<sup>9</sup> La mayoría de los datos han sido obtenidos del informe *ciudad y transporte*, que a su vez los ha extraído de los informes anuales de la OMS Europa.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

En la actualidad la OPEP engloba además de los socios fundadores a otros 8 países, con lo que está formada por: Angola, Argelia, Arabia Saudita, Ecuador, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, Irak, Kuwait, Nigeria, Qatar, Irán, Libia y Venezuela. Estos 13 países (una sola organización) se estima que tienen el control sobre aproximadamente el 43% de la producción mundial y algo más del 75% de las reservas petrolíferas a nivel mundial.

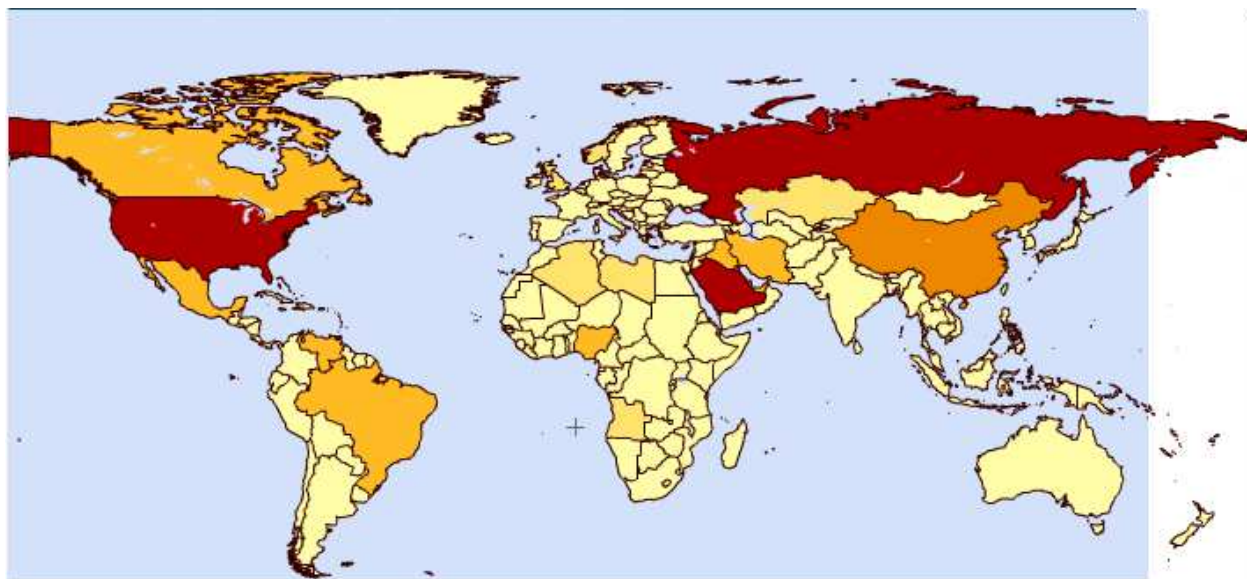


**Figura 2.26: La OPEP: países fundadores, actuales y observadores. Estimación de producción y de reservas mundiales. Fuente: Diario Expansión.**

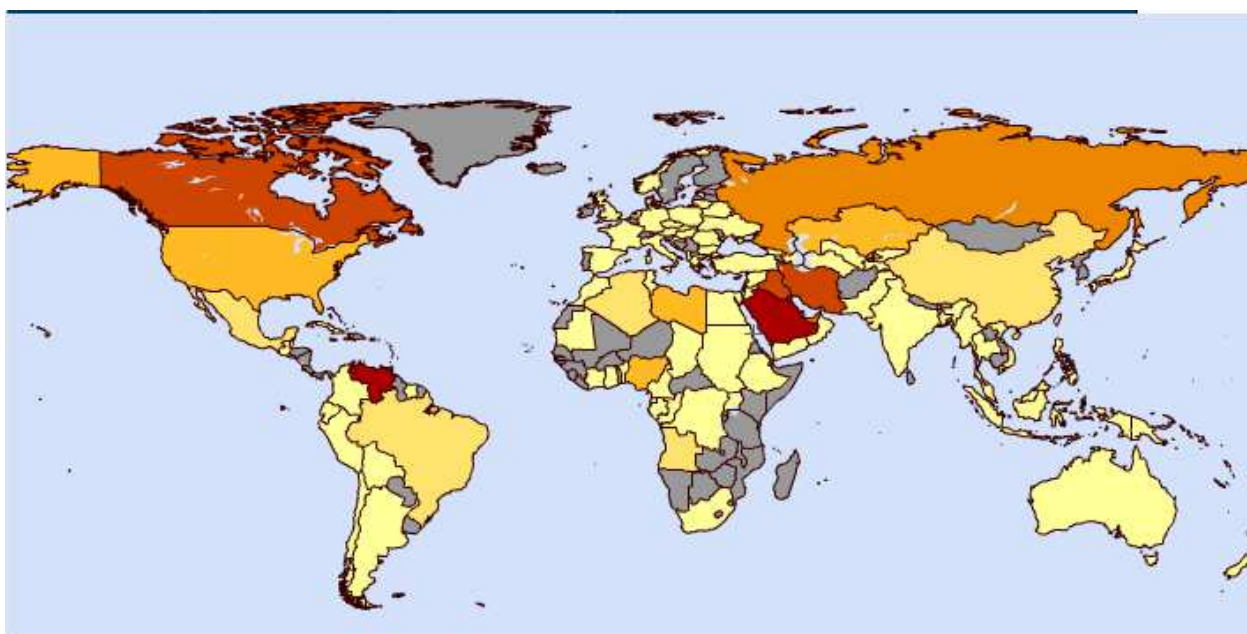


## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---



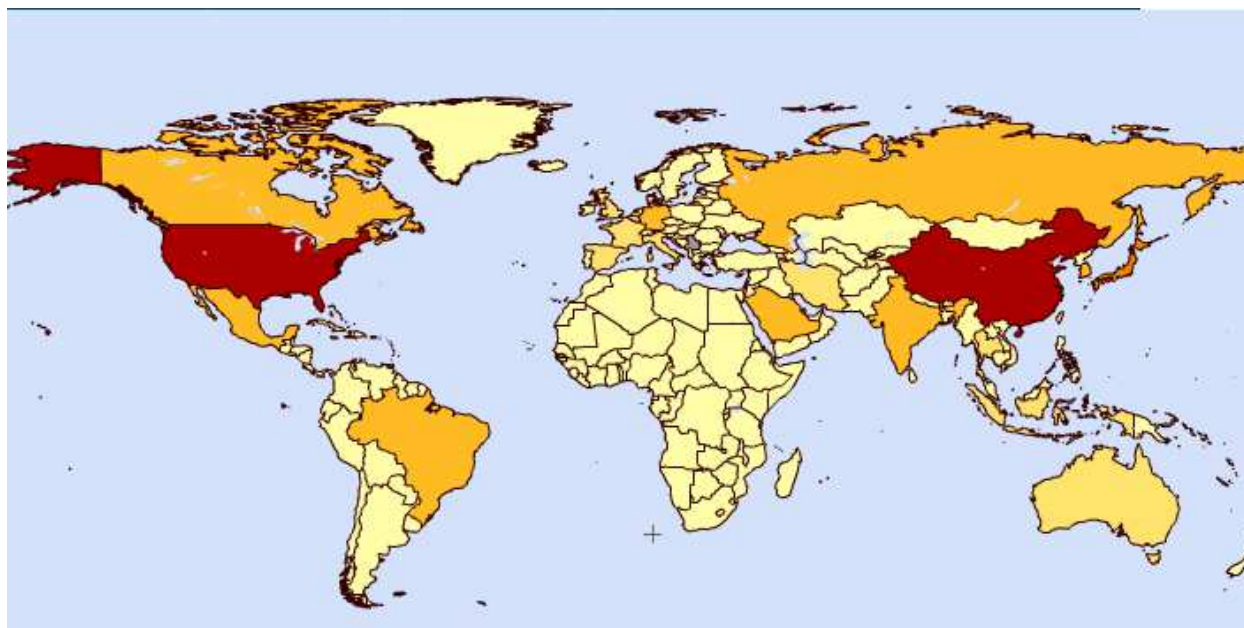
*Figura 2.27: Principales productores de petróleo a nivel mundial. Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Nota: la producción por colores va desde rojo (mayor producción) a blanco (menor producción o sin producción).*



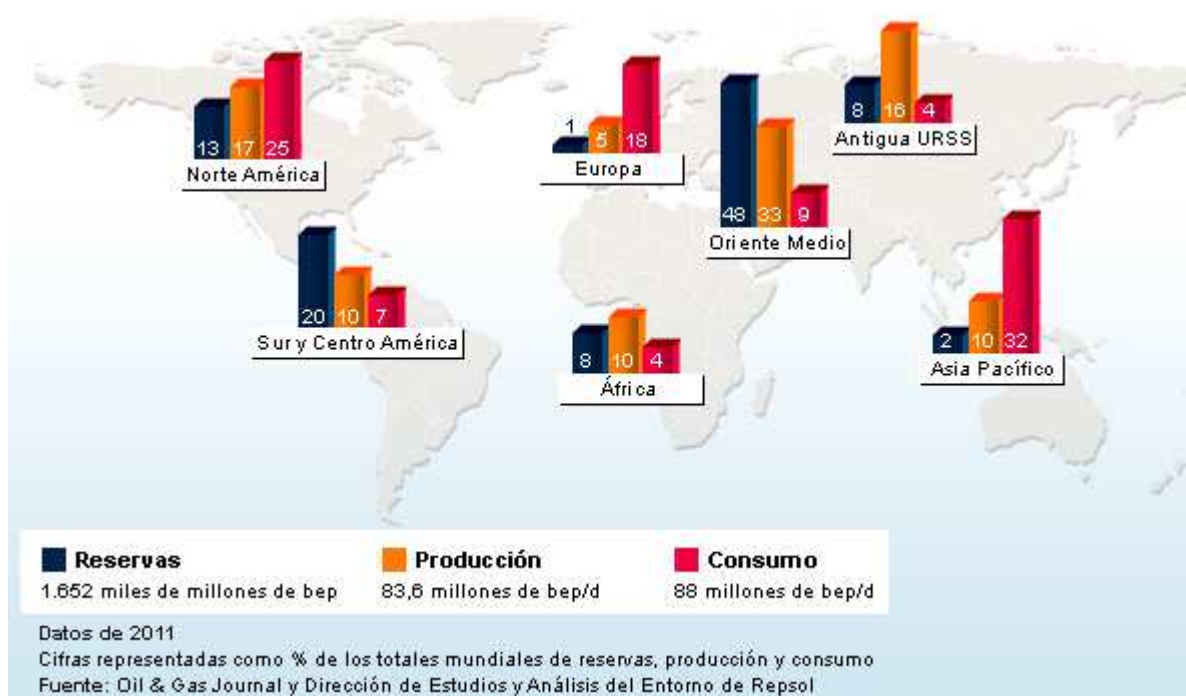
*Figura 2.28: Reservas estimadas por país. Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Nota: la mayor reserva por colores va desde rojo (mayores reservas) a blanco (menores reservas o sin reservas).*

Hasta aquí hemos visto quienes son los principales productores y exportadores de petróleo a nivel mundial. Observemos ahora cuáles son los principales países receptores de dichas exportaciones y la importancia de las mismas para su economía.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



*Figura 2.29: Principales consumidores de petróleo a nivel mundial. Fuente: Agencia Internacional de la Energía. Nota: el consumo por colores va desde rojo (mayor consumo) a blanco (menor consumo).*

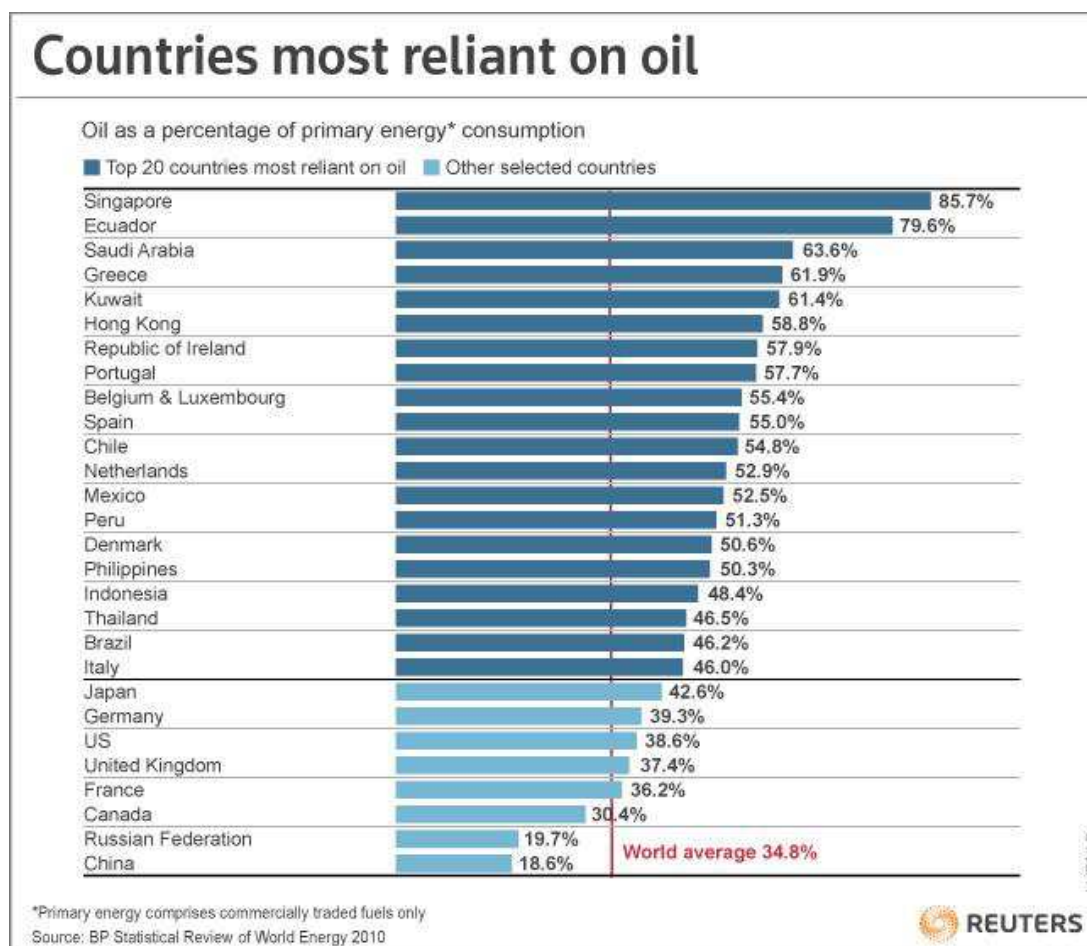


*Figura 2.30: Reservas estimadas, producción y consumo actuales (2011) en millones de barriles diarios. Fuente: Repsol.*

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

A la vista de las imágenes anteriores podemos observar una serie de pautas importantes: la mayor parte de la producción mundial se concentra en menos de una docena de países, la mayor parte de los cuales se concentra en el golfo pérsico, junto con Venezuela, EEUU, Rusia y parte de África. La mayor parte de las reservas estimadas para el futuro se concentra en sudamérica y oriente medio, algo menos en norteamérica (fundamentalmente Canadá) y el consumo es mayoritario en Asia-Pacífico, Norteamérica (particularmente EEUU) y Europa, siendo parte de los principales productores pequeños consumidores, como Rusia, Oriente Medio o África.

Así, podemos observar como los principales consumidores, particularmente Europa a pesar de algunos yacimientos de importancia en el Mar del Norte, no son productores de petróleo, lo que conlleva una alta dependencia de sus economías respecto de los países citados como principales productores. No obstante, hay que reseñar que productores y exportadores no son sinónimos pues dependiendo de las relaciones entre consumo y producción hay algunos países o regiones cuya producción es íntegra para consumo interno o almacenamiento, como es el caso de los yacimientos en EEUU o en el Mar del Norte.



**Figura 2.31:** orden de países más dependientes del petróleo como fuente de energía primaria. Fuente: BP Statistical review of world Energy 2010.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

En el gráfico anterior podemos observar la dependencia relativa considerada del petróleo como fuente de energía primaria a fecha del año 2010 según la compañía BP, donde podemos observar donde España figura en el puesto número 10 a nivel mundial con una dependencia de alrededor del 55%, lo que la pone en una situación delicada a nivel político internacional a la hora de negociar con países productores.

Todo lo anterior nos sitúa en el hecho de que los países exportadores de petróleo son los grandes beneficiados desde el punto de vista político, dado que de sus exportaciones depende en suma medida la economía de los países receptores de crudo, pudiendo afectar a estos últimos en función de la producción decretada por los primeros. A lo largo de la historia reciente, particularmente en la segunda mitad del s. XX y principios del XXI, numerosos incidentes de tipo político han contribuido a hacer del suministro de petróleo a nivel mundial un problema potencial, provocando importantes altibajos en la economía a nivel global y demostrando así el principal punto débil de las economías de los países no productores. Podemos citar algunos ejemplos históricos relevantes:

- Guerra del Yom Kipur y crisis del petróleo de 1973: el 6 de Octubre de 1973, coincidiendo con la festividad judía del Yom Kipur y conmemorando la batalla de Badr, Egipto y Siria lanzaron un ataque sorpresa sobre Israel, que si bien inicialmente la sorpresa llevó a grandes avances a los dos países árabes finalmente el triunfo total en la contienda caería por el lado judío. Como parte de la estrategia los países árabes pertenecientes a la OPEP mas Egipto, Siria y Túnez decretaron el embargo a los países occidentales que apoyaron a Israel, especialmente EEUU y Países Bajos, duplicando el precio real del barril de crudo y provocando una larga recesión que se prolongó por toda la década de los 70 en occidente. Esto tuvo como consecuencia el que los países occidentales fueran más conscientes de su alta dependencia del petróleo extranjero y particularmente en los EEUU, donde llegaron a darse casos de desabastecimiento de gasolinas y tuvo lugar el racionamiento de los productos petrolíferos. El embargo petrolífero sobre los EEUU se prolongó hasta la primavera de 1974.
- Revolución islámica de Irán, 1979: en 1979 las turbulencias que asolaban lo que entonces era Persia, uno de los mayores productores y exportadores de crudo hacia occidente de todo Oriente Medio provocó la salida del país de Mohammed Reza Palevi, Sha de Persia, al llegar la que es conocida como revolución islámica de Irán, donde el ayatolá Jameini pasó a gobernar el país, convirtiéndolo en una autocracia de tipo religioso. Los disturbios y al falta de estabilidad afectaron a la producción y suministro exterior del crudo del país (la revolución comenzó con una huelga de los trabajadores de las principales instalaciones de extracción del país), provocando de nuevo un importante repunte en el precio del crudo cuando tan apenas las economías occidentales estaban superando la recesión causada por la crisis de 1973.
- Guerra Irán-Irak 1980: En 1980, poco tiempo después de la revolución islámica en Irán, Irak invadía a su vecino por disputas territoriales y rencillas históricas. En un conflicto que se saldó con casi un millón de muertos y más de dos millones de heridos las economías de ambos países quedaron desechas y la producción y suministro de crudo se vio seriamente afectado. Hay que tener en cuenta que la salida del petróleo Iraní se realiza a través del golfo pérsico teniendo que atravesar un punto estratégico clave como es el estrecho de Ormuz

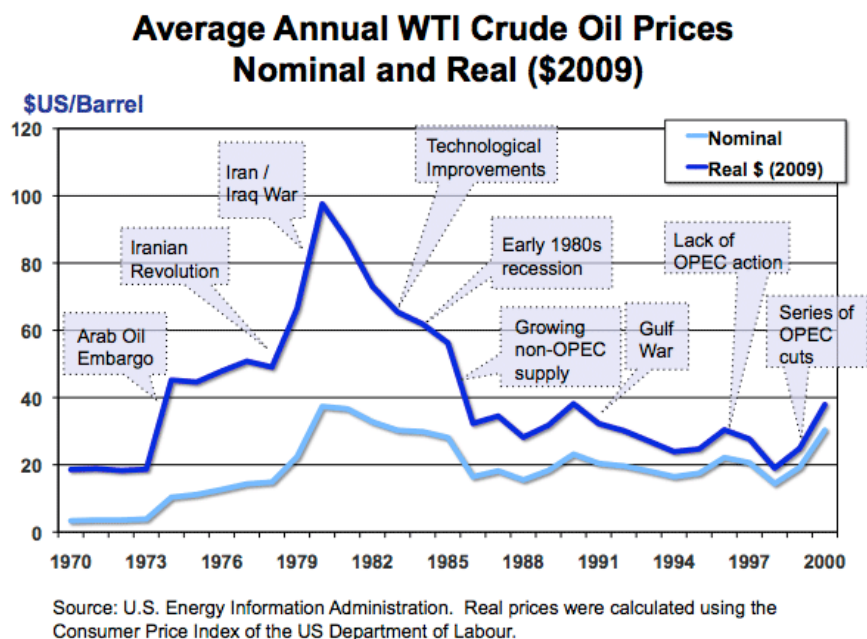
# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

(alrededor del 20% del petróleo mundial pasa por este punto), cercano a la frontera y la cota Iraquíes y que tradicionalmente ha sido punto de conflicto entre Irán, Irak, Emiratos Árabes Unidos y Omán.

- Primera guerra del golfo o la invasión de Kuwait por parte de Irak (1990-1991): al acabar la guerra entre Irán e Irak la economía de ambos países había sufrido una gran caída y las cifras del paro habían aumentado hasta alcanzar los dos dígitos, de forma que Saddam Hussein decidió invadir a su vecino Kuwait, un país rico en petróleo pero pequeño y con escasas posibilidades de defensa. La invasión iraquí de Kuwait fue rápida pero motivó la respuesta internacional liderada por Estados Unidos al quedar gran parte de la producción de petróleo del golfo pérsico en manos de Irak con un gobierno poco favorable a los intereses occidentales. En 1991 tropas estadounidenses y británicas fundamentalmente expulsaban a los Iraquíes de Kuwait y forzaban su rendición.
- Segunda guerra del golfo (2003): en 2003 el presidente de Estados Unidos declaraba la guerra a Irak con el pretexto de la existencia, nunca demostrada, de armas de destrucción masiva en Irak y su posible interés en usarlas contra sus vecinos árabes o Israel. La guerra concluía con la ocupación del país por tropas norteamericanas durante casi 7 años.
- Embargo petrolero a Irán (2011-2013): con motivo de las dudas y sospechas acerca del programa nuclear Iraní (Irán afirma que su programa nuclear es pacífico pero existen sospechas de que la obtención de armamento nuclear pueda estar entre sus objetivos) fue decretado el embargo sobre el país asiático por los Estados Unidos y la Unión Europea, provocando un encarecimiento de nuevo del precio del petróleo en occidente y una grave recesión en Irán.
- Tensiones entre Rusia, Ucrania, la Unión Europea y los estados unidos(2014): tras las revueltas que culminaron con el abandono del país del primer ministro ucraniano Timoshenko y su exilio voluntario en Moscú, diversas regiones del este del país de habla rusa han estallado en revueltas así mismo contra la capital, Kíev, con el beneplácito o la ayuda directa de Rusia para su incorporación a la federación rusa. Particular es el caso que de Crimea, actualmente bajo control ruso por ser un paso estratégico para la salida de Rusia y su petróleo y gas del Cáucaso a través del Mar Negro hacia el Mediterráneo a través de los estrechos del Bósforo y los Dardanelos.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



*Figura 2.32: evolución del precio del crudo desde 1970 hasta el año 2000. Es posible observar la evolución paralela del precio del barril de crudo respecto a los hechos comentados. Fuente: US EIA.*

Aunque en la actualidad el nivel de tensión en Oriente Medio no ha alcanzado para la reproducción de conflictos de este tipo, es de destacar que como hemos podido observar Oriente Medio es siempre sinónimo de conflictos políticos en parte debidos precisamente a su importante producción de crudo y sus aún más importantes reservas futuras de petróleo.

Fuera de la historia aunque ligada geográficamente a los países que acabamos de exponer se encuentran posibles focos de conflicto por índole geográfica que pueden provocar problemas en el suministro al ser áreas de tránsito importantes de petróleo, como son:

- El estrecho de Ormuz: todo el petróleo Iraní pasa por este importante paso estratégico que condensa aproximadamente el 20% del tráfico de petróleo mundial. Ha sido objeto de roces políticos entre al menos cuatro países como hemos comentado antes.
- Golfo de Adén: donde actualmente se concentra una misión internacional debido a la piratería procedente de Somalia. Es paso obligado del petróleo procedente del Golfo Pérsico con dirección al Mar Rojo y hacia occidente (particularmente la UE).
- Mar Rojo: Mar que por su peculiar anchura y posición geográfica forma, junto con el Golfo de Adén y el canal de Suez la principal vía de paso del petróleo del Golfo en dirección a occidente. Ha sido objeto de control por parte de las principales potencias de la zona: Egipto, Arabia Saudí, Sudan e Israel.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- Canal de Suez y estrechos de Tirán: última escala en el transporte petrolífero hacia occidente antes de su entrada en el mar Mediterráneo. Actualmente controlado por Egipto aunque anteriormente lo estuvo por un consorcio Franco-Británico, ha sido en el pasado objeto de conflicto político, particularmente por parte de Egipto e Israel por ser el paso a la península del Sinaí.
- Estrecho de Malaca: lugar también frecuentado en ocasiones por la piratería (más en el pasado que en la actualidad), el estrecho de Malaca es el paso obligado del crudo procedente del Golfo Pérsico en dirección a la región Asia-Pacífico, particularmente China y Japón, atravesando aguas de Indonesia, Malasia y Singapur y con aguas próximas a Vietnam, Tailandia y Myanmar.
- Crimea y la salida al mar Mediterráneo: Desde el desmembramiento de la Unión Soviética y la incorporación de Crimea a Ucrania, la salida de la flota de guerra rusa así como sus mercancías y especialmente el petróleo y el gas están en situación delicada dado que Sebastopol es el mejor puerto y el que actualmente se usa, sito en la península de Crimea, bajo control de Iure por Ucrania y de facto por Rusia. Crimea es la punto de control del Mar Negro por el que transita la mayor parte del tráfico marítimo de Rusia y el Este de Europa.



Figura 2.33: mapa de la zona del Golfo Pérsico y sus comunicaciones marítimas. Fuente: elaboración propia.



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---



*Figura 2.34:* mapa de la zona del Estrecho de Malaca y sus comunicaciones marítimas. Fuente: elaboración propia.



*Figura 2.35:* mapa de la zona del mar Negro, Crimea, los estrechos del Bósforo y los Dardanelos y sus comunicaciones marítimas. Fuente: elaboración propia.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## **2.5. La producción eléctrica en España.**

### **2.5.1. Demanda final de energía en España.**

El consumo de energía final en España es el consumo energético español por parte del consumidor final. En el año 2011 (último de estimación de datos por parte del Ministerio de Industria, Energía y Turismo) muestra los siguientes resultados:

	2010	2011	Tasa de variación %
Carbón	1.390	1.251	-10,0
Gases Derivados del Carbón	265	307	15,9
P. Petrolíferos	46.454	43.962	-5,4
Gas	14.303	12.789	-10,6
Electricidad	22.410	21.744	-3,0
Energía renovables	5.666	6.174	9,0
<b>Total usos energéticos</b>	<b>90.487</b>	<b>86.226</b>	<b>-4,7</b>
<b>Usos no energéticos:</b>			
Carbón	36	56	56,5
Prod. Petrolíferos	6.582	6.417	-2,5
Gas natural	470	538	14,5
<b>Total usos finales</b>	<b>97.576</b>	<b>93.238</b>	<b>-4,4</b>

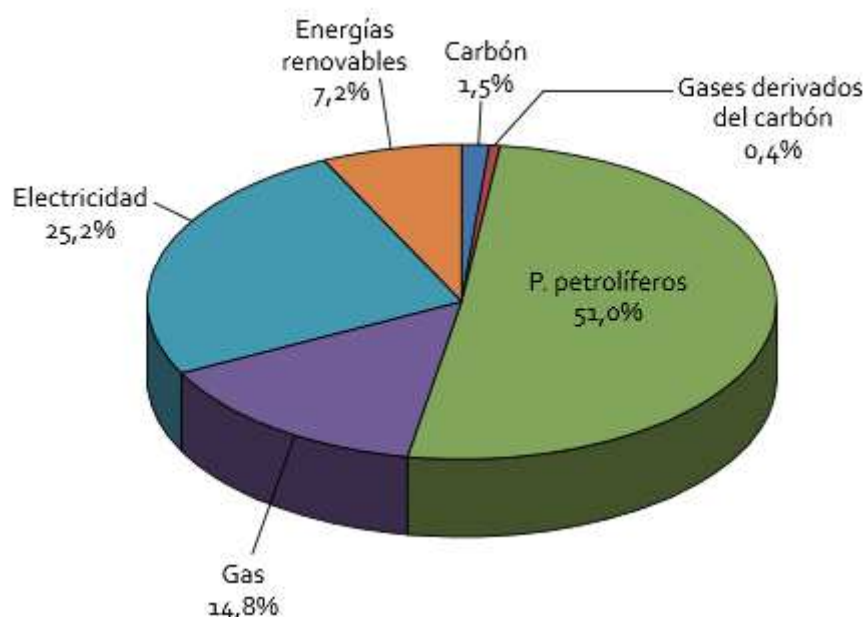
*Tabla 2.14: consumo total de energía final en España en el año 2011 en ktep<sup>10</sup>. Fuente: Ministerio de industria.*

Como hemos visto en la tabla anterior, el consumo de energía primaria en España cayó en 2011 un 4.4% respecto al año 2010, fundamentalmente debido a la caída de la economía española entre esos años. Se observa también como la caída es en todo tipo de energía con la excepción de las energías renovables, que aumentan un 9% su consumo y de los gases derivados del carbón, aunque en este último caso estos apenas suponen un 0,3%. También es de destacar como las mayores caídas se concentran en los combustibles de origen fósil como el carbón y el gas y en menor medida de los productos derivados del petróleo. Por su parte, la electricidad es la fuente de energía final que registra menor caída.

<sup>10</sup> Ktep: kilotoneladas equivalentes de petróleo.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---



*Figura2.36: proporción de consumo de cada tipo de fuente energética sobre el consumo final en España en 2011.*  
**Fuente: Ministerio de industria.**

En el anterior gráfico vemos la proporción que supone cada uno de las diferentes fuentes de energía final consumidas en España en 2011. Es destacable el hecho de que los productos derivados del petróleo suponen por sí mismos aproximadamente la mitad del consumo final de energía en España y que el conjunto de los combustibles de origen fósil o no renovables suponen un 65%, mientras las energías renovables suponen tan sólo un 7.5% del total.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

### 2.5.2. Demanda primaria de energía en España.

El consumo de energía primaria, o fuente energética principal en España, en el año 2011 muestra lo siguiente:

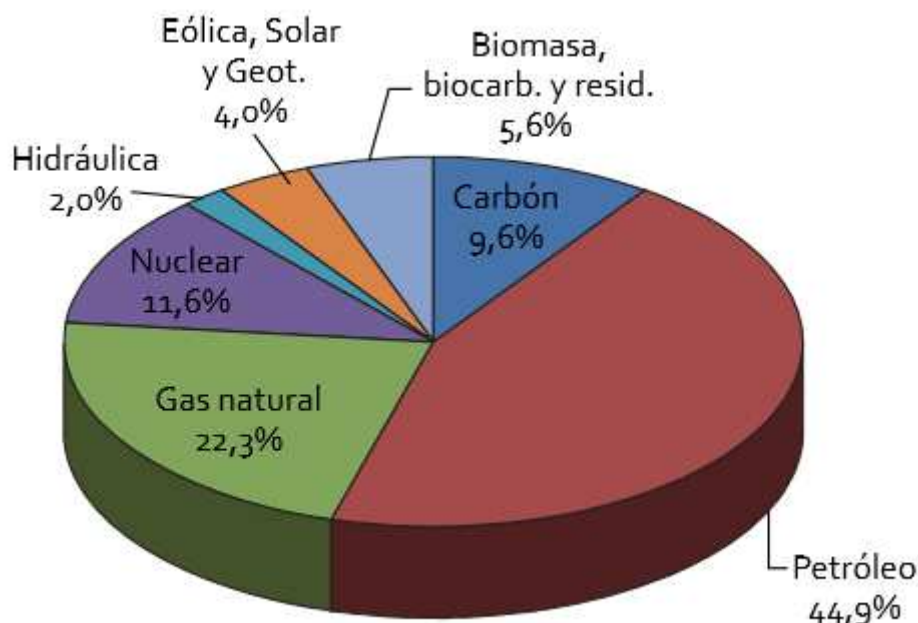
	2010	2011	Tasa de variación %
Carbón	7.156	12.456	74,1
Petróleo	60.993	58.317	-4,4
Gas natural	31.182	28.930	-7,2
Nuclear	16.155	15.024	-7,0
Hidráulica	3.636	2.631	-27,6
Eólica, solar y geotérmica	4.834	5.226	8,1
Biomasa, biocarburantes y residuos	6.894	7.280	5,6
Saldo imp-exp electricidad	-717	-524	-26,9
<b>TOTAL</b>	<b>130.134</b>	<b>129.339</b>	<b>-0,6</b>

*Tabla 2.15: consumo energético primario en España en 2011, en ktep. Fuente: Ministerio de Industria.*

Según la tabla anterior, el consumo de energía primaria en España en el año 2011 cayó un 0,6% con respecto al año anterior, fundamentalmente debido a la situación económica que atraviesa el país. Podemos observar varios datos importantes: por un lado existe una gran caída en el aporte de la energía hidráulica debido al aporte excepcional del año 2010 mientras en el año hubo un aporte inferior. Por otro lado observamos el crecimiento del carbón en más de un 74%, pero ello es debido al cambio en el uso de carbón para la generación de energía eléctrica en 2011. Podemos observar también que las únicas fuentes de energía primaria que crecen en su aportación entre ambos años son las renovables y los biocombustibles, aunque el peso de ambas es muy inferior: alrededor de un 4% para las energías renovables y un 5.6% para los biocombustibles.



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



**Figura 2.37:** proporción de consumo de cada tipo de fuente energética sobre el consumo primario de energía en España en 2011. Fuente: Ministerio de industria.

Podemos observar en el gráfico anterior que los combustibles de origen fósil representan alrededor del 77% del consumo primario de energía en España en la actualidad, mientras la suma de las energías hidráulica, eólica, geotérmica, solar y procedente de la biomasa y los biocombustibles supone apenas un 11.4% del total.

### 2.5.3. Déficit y autoabastecimiento.

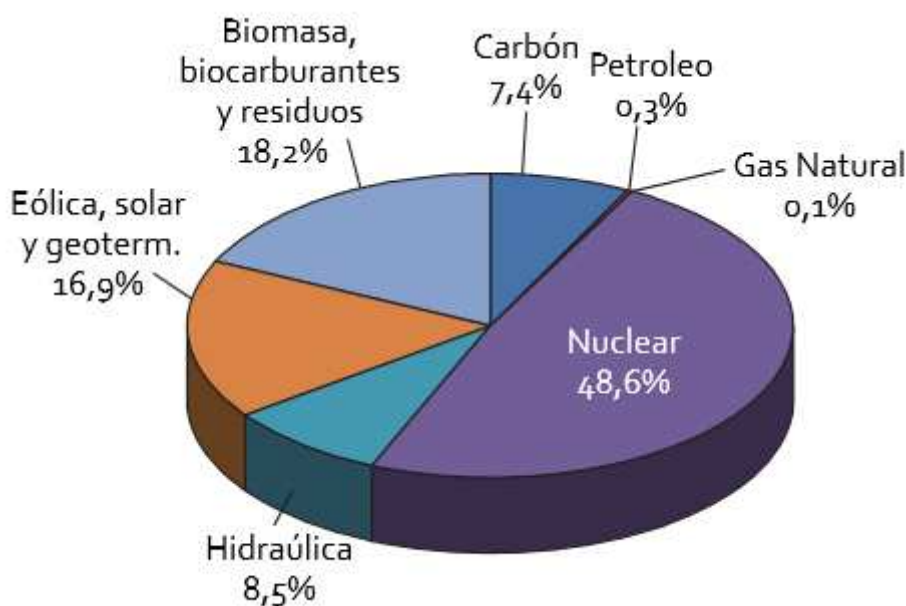
	2010	2011	Tasa de variación %
Carbón	3.033	2.287	-24,6
Petróleo	125	101	-19,5
Gas natural	51	45	-11,5
Nuclear	16.155	15.024	-7,0
Hidráulica	3.636	2.631	-27,6
Eólica, solar y geotérmica	4.834	5.226	8,1
Biomasa, biocarburantes y residuos	6.490	5.615	-13,5
<b>TOTAL</b>	<b>34.325</b>	<b>30.929</b>	<b>-9,9</b>

**Tabla 2.16:** producción interior de energía primaria en España en 2011 en ktep. Fuente: Ministerio de Industria.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

En la tabla anterior vemos la producción de energía primaria en España, en ktep. Podemos observar que la producción interna del país de energía primaria apenas representa un 24% del total de la energía primaria consumida, por tanto la dependencia en materia energética del país respecto del exterior supone alrededor de un 76%, uno de los valores más elevados a nivel UE.



*Figura 2.38: distribución por fuente de energía de la energía primaria producida en España, en ktep en 2011.*  
Fuente: Ministerio de Industria.

En el gráfico anterior observamos como de toda la energía primaria producida en España alrededor del 50% corresponde a la energía nuclear, aproximadamente un 43.6% a energías de tipo renovable y alrededor de un 7.8% a combustibles de origen fósil, lo que da buena muestra de la prácticamente nula producción de combustibles de origen fósil del país.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

### 2.5.4. El sector de la energía eléctrica.

#### 2.5.4.1. Demanda eléctrica

	2010	2011	Tasa de variación
1.-Sistema peninsular	245.806	238.886	-2,8%
–Consumo final sistema de R.E.E.	241.203	235.815	-2,2%
–Autoconsumo régimen especial	4.603	3.070	-33,3%
2.-Sistemas extrapeninsulares	14.772	13.962	-5,5%
–Consumo final en Baleares	5.788	5.190	-10,3%
–Consumo final en Canarias	8.559	8.383	-2,1%
–Consumo final en Ceuta y Melilla	425	389	-8,4%
<b>CONSUMO FINAL TOTAL NACIONAL</b>	<b>260.578</b>	<b>252.848</b>	<b>-3,0%</b>

*Tabla 2.17: consumo de energía eléctrica en España, año 2011 en gWh. Fuente: Ministerio de Industria.*

En el cuadro anterior podemos observar como la demanda eléctrica en España cayó a lo largo de 2011 un 3% en comparación con el año anterior, lo que va en línea con los demás consumos energéticos que hemos visto, debido a la coyuntura económica. Llama la atención especialmente la caída de un 33% en el autoconsumo en régimen especial fruto de la entrada en vigor de legislación más restrictiva.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## 2.5.4.2. Producción eléctrica.

	2010	2011	Tasa de variación
<b>I.-SISTEMA PENINSULAR</b>	<b>286.373</b>	<b>276.186</b>	<b>-3,6%</b>
<b>I.1.-RÉGIMEN ORDINARIO</b>	<b>188.593</b>	<b>179.618</b>	<b>-4,8%</b>
Hidroeléctrica:	38.631	27.575	-28,6%
– Convencional	35.421	25.260	-28,7%
– bombeo	3.210	2.315	-27,9%
<b>Térmica:</b>	<b>149.961</b>	<b>152.043</b>	<b>1,4%</b>
Nuclear	61.990	57.649	-7,0%
Antracita	291	7.782	2574,3%
Lignito negro	1.282	3.973	209,9%
Hulla	19.510	28.583	46,5%
Gas siderúrgico	841	985	17,1%
Gas natural	64.969	51.357	-21,0%
Prod. petrolíferos	1.078	1.714	59,0%
<b>I.2.-RÉGIMEN ESPECIAL</b>	<b>97.780</b>	<b>96.569</b>	<b>-1,2%</b>
Hidroeléctrica	6.857	5.332	-22,2%
Eólica	43.821	42.007	-4,1%
Fotovoltaica	6.133	7.019	14,4%
Termosolar	692	1.777	156,9%
Carbón	643	511	-20,5%
Gas siderúrgico	148	183	23,5%
Gas natural	31.649	31.806	0,5%
Prod. petrolíferos	3.176	2.691	-15,3%
Biomasa	2.459	2.936	19,4%

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Biogas	653	875	34,0%
R.S.U. renovable	693	631	-8,9%
R.S.U. no renovable	693	631	-8,9%
Otras fuentes	165	171	3,9%
<b>II.-SISTEMAS EXTRAPENINSULARES</b>	<b>16.718</b>	<b>15.865</b>	<b>-5,1%</b>
<b>II.1.-BALEARES</b>	<b>6.579</b>	<b>5.943</b>	<b>-9,7%</b>
-RÉGIMEN ORDINARIO	6.232	5.697	-8,6%
Carbón	3.608	2.910	-19,3%
Prod. petrolíferos	2.624	1.433	-45,4%
Gas natural	-	1.353	
-RÉGIMEN ESPECIAL	346	246	-29,1%
Prod. petrolíferos	94	4	-95,6%
R.S.U. renovable	82	69	-15,4%
R.S.U. no renovable	82	69	-15,4%
Eólica	6	6	12,0%
Solar	84	97	16,0%
<b>II.2.-CANARIAS</b>	<b>9.652</b>	<b>9.470</b>	<b>-1,9%</b>
-RÉGIMEN ORDINARIO	8.928	8.644	-3,2%
Prod. petrolíferos	8.928	8.644	-3,2%
-RÉGIMEN ESPECIAL	724	826	14,1%
Prod. petrolíferos	191	239	25,2%
Eólica	338	360	6,5%
Solar	195	227	16,3%
<b>II.3.-CEUTA y MELILLA</b>	<b>488</b>	<b>451</b>	<b>-7,4%</b>
-RÉGIMEN ORDINARIO	472	445	-5,7%
Prod. petrolíferos	472	445	-5,7%
-RÉGIMEN ESPECIAL	16	6	-59,1%
R.S.U. renovable	8	3	-59,1%
R.S.U. no renovable	8	3	-59,1%
<b>Total producción nacional</b>	<b>303.091</b>	<b>292.051</b>	<b>-3,6%</b>
Consumos propios	11.006	11.279	2,5%
Consumo en bombeo	4.458	3.215	-27,9%
Importación -exportación	-8.332	-6.091	-26,9%
<b>Demanda nacional</b>	<b>279.295</b>	<b>271.466</b>	<b>-2,8%</b>

*Tabla 2.18: producción eléctrica en España en 2011 en gWh por tipo. Fuente: Ministerio de Industria.*

En la tabla precedente podemos observar la producción eléctrica en España desglosada y la variación entre 2010 y 2011, donde se aprecia una caída del 3.6%, similar a los otros indicadores. Podemos destacar de nuevo la gran caída de la energía hidráulica, un 28% mientras la energía térmica eléctrica crece respecto al año anterior en un 1.4%, fruto del elevado consumo de carbón como hemos visto anteriormente. También aumenta considerablemente el consumo de productos petrolíferos para la producción de energía eléctrica, aunque dada la escasa proporción que representan su uso sigue sin ser determinante, de forma similar a como le ocurre a la energía solar termoeléctrica.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

	2010	2011	Tasa de variación
<b>I.-SISTEMA PENINSULAR</b>	<b>47.860</b>	<b>48.423</b>	<b>1,2%</b>
<b>I.1.-RÉGIMEN ORDINARIO</b>	<b>36.233</b>	<b>36.091</b>	<b>-0,4%</b>
Hidroeléctrica	3.046	2.172	-28,7%
Térmica	33.186	33.918	2,2%
Nuclear	16.155	15.024	-7,0%
Antracita	93	1.936	1973,5%
Lignito neto	282	927	229,0%
Hulla	4.548	6.808	49,7%
Gas siderúrgico	195	229	17,7%
Gas natural	10.108	8.623	-14,7%
Prod. petrolíferos	1.806	373	-79,4%
<b>I.2.-RÉGIMEN ESPECIAL</b>	<b>11.627</b>	<b>12.333</b>	<b>6,1%</b>
Hidroeléctrica	590	459	-22,2%
Eólica	3.769	3.613	-4,1%
Fotovoltaica	527	604	14,4%
Termosolar	285	698	144,6%
Carbón	97	103	6,2%
Hulla	97	103	6,2%
Gas siderúrgico	23	31	34,3%
Gas natural	4.678	5.187	10,9%
Prod. petrolíferos	482	332	-31,1%
Biomasa	633	765	20,9%
Biogas	160	210	31,3%
R.S.U. renovable	191	166	-13,3%
R.S.U. no renovable	191	166	-13,3%
<b>II.-SISTEMAS EXTRAPENINSULARES</b>	<b>2.007</b>	<b>3.106</b>	<b>54,8%</b>
<b>II.1.-BALEARES</b>	<b>1.130</b>	<b>1.046</b>	<b>-7,4%</b>
<b>-RÉGIMEN ORDINARIO</b>	<b>1.063</b>	<b>1.020</b>	<b>-4,0%</b>
Carbón	841	700	-16,7%
Hulla	841	700	-16,7%
Prod. petrolíferos	222	320	44,0%
Gas natural	-	299	100,0%
<b>-RÉGIMEN ESPECIAL</b>	<b>67</b>	<b>26</b>	<b>-61,1%</b>
Prod. petrolíferos	14	1	-95,9%
R.S.U. renovable	22	8	-63,2%
R.S.U. no renovable	22	8	-63,2%
Eólica	0	1	12,0%
Solar	7	8	16,0%

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

II.2.-CANARIAS	832	1.970	136,8%
–RÉGIMEN ORDINARIO	757	1.874	147,4%
Prod. petrolíferos	757	1.874	147,4%
–RÉGIMEN ESPECIAL	75	97	29,4%
Prod. petrolíferos	29	46	59,9%
Eólica	29	31	6,5%
Solar	27	20	16,3%
II.3.-CEUTA y MELILLA	44	89	101,2%
–RÉGIMEN ORDINARIO	40	88	121,1%
Prod. petrolíferos	40	88	121,1%
–RÉGIMEN ESPECIAL	4	1	-82,3%
R.S.U. renovable	2	0	-82,3%
R.S.U. no renovable	2	0	-82,3%
<b>CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA PRIMARIA</b>	<b>49.867</b>	<b>51.529</b>	<b>3,3%</b>
Hidroeléctrica	3.636	2.631	-27,6%
Eólica	3.798	3.644	-4,1%
Solar	837	1.329	58,9%
Nuclear	16.155	15.024	-7,0%
Carbón	5.861	10.474	78,7%
Gas siderúrgico	218	260	19,5%
Gas natural	14.786	14.109	-4,6%
Prod. petrolíferos	3.351	3.034	-9,5%
Biomasa	633	765	20,9%
Biogas	160	210	31,3%
R.S.U. renovable	216	174	-19,2%
R.S.U. no renovable	216	174	-19,2%

*Tabla 2.19: consumo de energía primaria para la generación eléctrica en España, por tipos, en 2011 en ktep.*  
Fuente: Ministerio de Industria.

En la tabla anterior vemos el consumo de energía primaria por tipos en España en el 2011 expresado en ktep. Podemos observar el fuerte incremento en la energía solar, aunque esta apenas representa el 2.5% del total de energía primaria, y el crecimiento del 78% del carbón como hemos comentado con anterioridad, pasando a representar el 20.2% del total de energía primaria consumida. Podemos observar también que el 49% del consumo de energía primaria fue de gas natural mientras la derivada de los productos petrolíferos supuso alrededor del 6%. Así, el conjunto de las energías no renovables supuso el 54.4% del total de energía consumida, mientras la nuclear supone un 29% del consumo y las energías renovables suponen alrededor del 16%.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

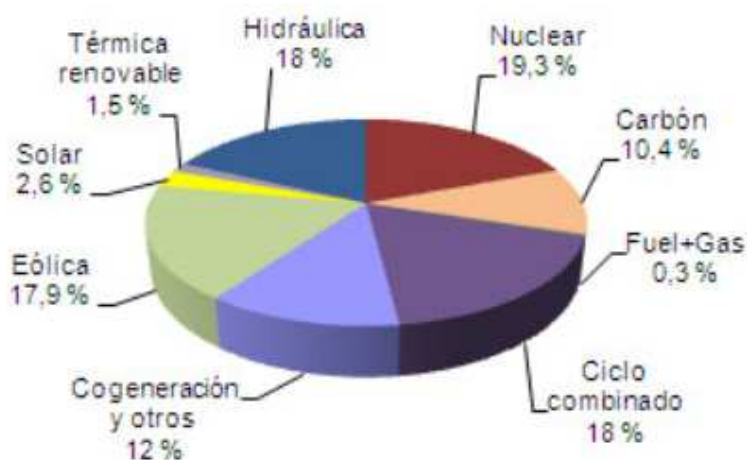


Figura 2.39: producción eléctrica en España por tipos de fuente en 2011. Fuente: Red Eléctrica Española.

Por otro lado, podemos observar en el gráfico anterior de Red Eléctrica Española la generación en 2011 de la energía eléctrica en España por fuente, proviniendo en este caso de energías renovables el 40% de la energía eléctrica. Es de destacar el escaso impacto que supone la energía solar en España dada la teórica capacidad del país para la explotación de dicha fuente de energía. Por otro lado observamos que las energías no renovables suponen el 40.7% y la nuclear el 19.3%. Hay que recordar la caída en ese año particular de la energía hidráulica y el gran incremento del carbón. Es de destacar también como la principal fuente de energía primaria del país, el petróleo, prácticamente no existe en la generación eléctrica, aunque sí el gas natural.

### 2.5.4.3. Emisiones del sistema de producción eléctrica en España.

#### Gases de efecto invernadero (GEI).

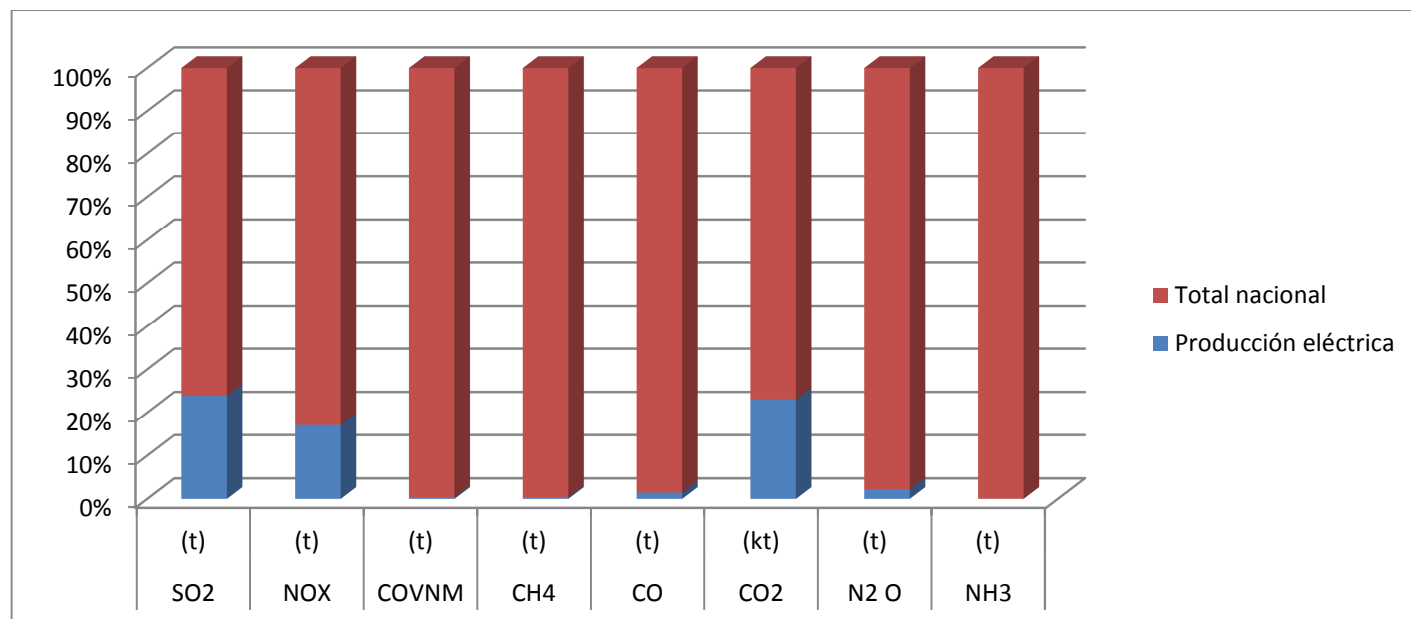
ACIDIFICADORES, PRECURSORES DEL OZONO Y							
GASES DE EFECTO INVERNADERO							
SO2 (t)	NOX (t)	COVMN (t)	CH4 (t)	CO (t)	CO2 (kt)	N2 O (t)	NH3 (t)
169.645,62	218.774,72	6.669,40	5.913,57	28.669,32	85.009,35	1.723,72	77,29

Tabla 2.20: emisiones de gases de efecto invernadero del sistema nacional de producción de energía eléctrica.

Fuente: Ministerio de Medioambiente.



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



**Figura 2.40:** relación entre las emisiones de gases de efecto invernadero del sistema nacional de producción de energía eléctrica y las emisiones totales nacionales.

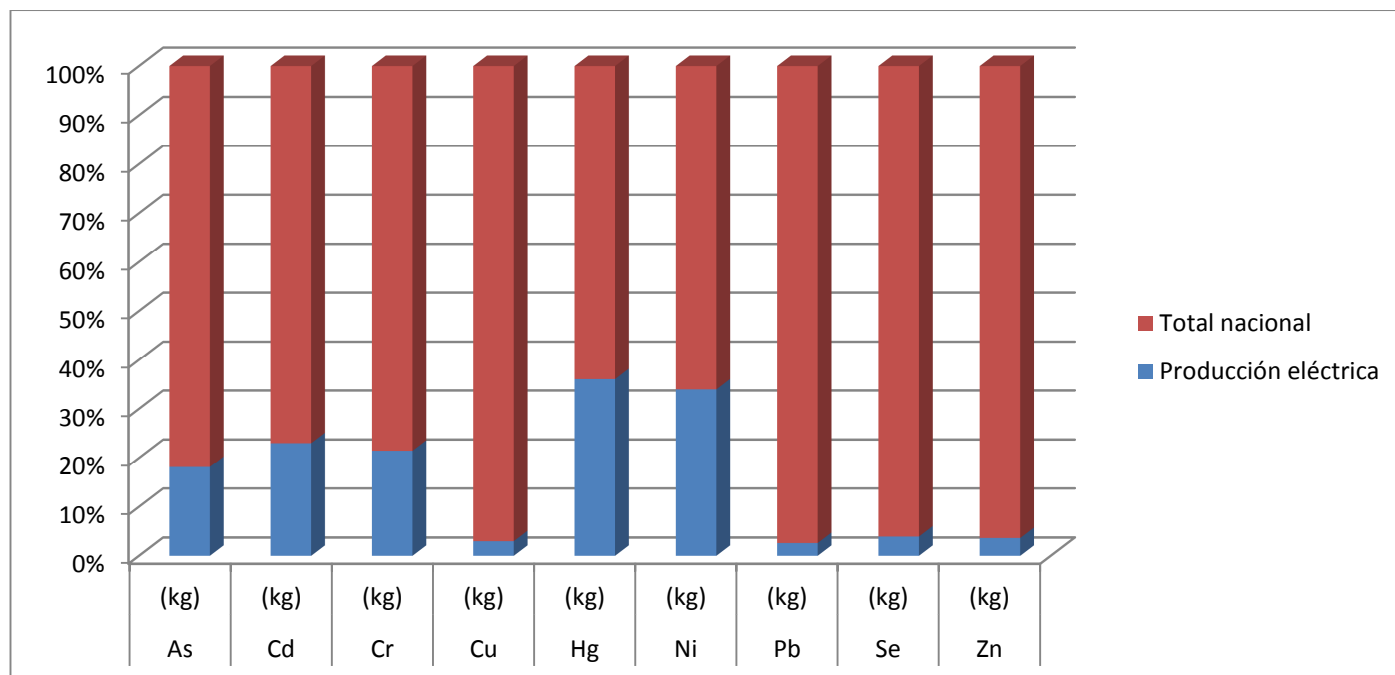
En los anteriores gráficos podemos observar la importancia de la producción eléctrica a nivel nacional en lo que a emisiones de gases contaminantes se refiere, donde es de destacar su contribución a las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>, representando cada una alrededor del 20% del total (15% para el NO<sub>x</sub>).

### Metales pesados.

METALES PESADOS								
As (kg)	Cd (kg)	Cr (kg)	Cu (kg)	Hg (kg)	Ni (kg)	Pb (kg)	Se (kg)	Zn (kg)
3.332,24	2.852,67	8.526,61	6.652,62	3.767,62	94.289,14	4.913,91	2.982,17	14.813,76

**Tabla 2.21:** emisiones de metales pesados del sistema nacional de producción de energía eléctrica. Fuente: Ministerio de Medioambiente.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



*Figura 2.41: relación entre las emisiones de metales pesados del sistema nacional de producción de energía eléctrica y las emisiones totales nacionales.*

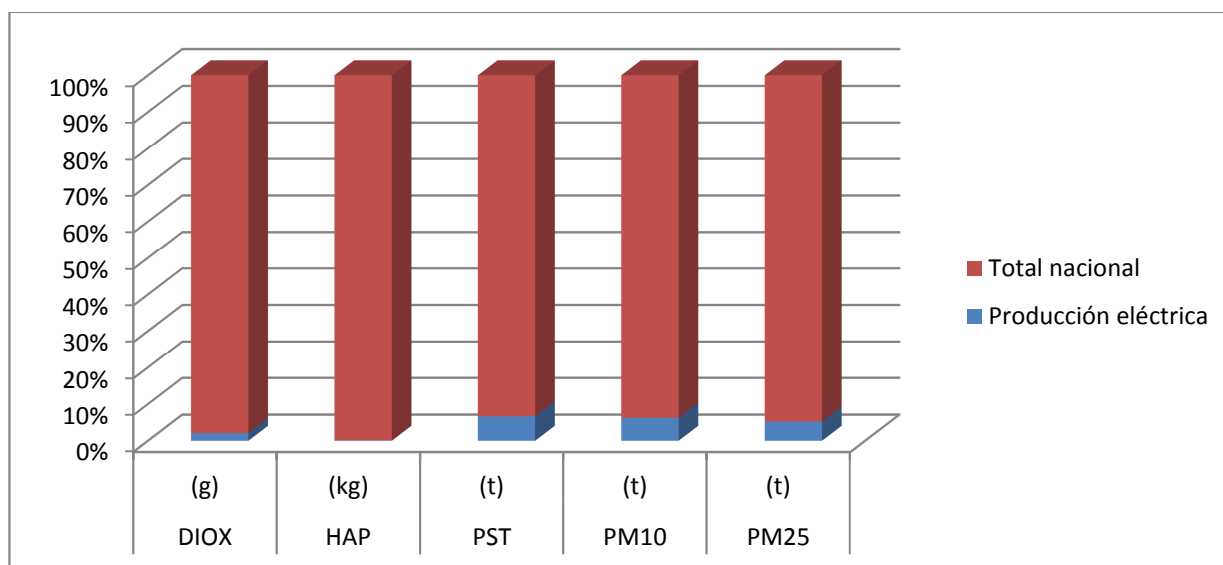
En cuanto a las emisiones de metales pesados, podemos observar como la producción de energía eléctrica en España contribuye en gran medida a dichas emisiones, superando varias de ellas el 20% de contribución y siendo especialmente remarcable en el caso del mercurio y el níquel, alcanzando hasta un 30% del total nacional de emisiones.

### Partículas en suspensión y compuestos orgánicos persistentes.

COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES		PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN		
DIOX (g)	HAP (kg)	PST (t)	PM10 (t)	PM25 (t)
2,38	174,45	5.403,29	7.160,43	8.787,79

*Tabla 2.22: emisiones de compuestos orgánicos y partículas en suspensión del sistema nacional de producción de energía eléctrica. Fuente: Ministerio de Medioambiente.*

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



**Figura 2.42: relación entre las emisiones de partículas y compuestos orgánicos del sistema nacional de producción de energía eléctrica y las emisiones totales nacionales.**

A diferencia de las emisiones de los apartados anteriores, en el caso de las partículas en suspensión y de los compuestos orgánicos persistentes, la contribución del sistema nacional de producción de energía eléctrica es menor, apenas superando un 5% del total nacional de emisiones, fundamentalmente en partículas.

### **2.6. Conclusiones**

A la vista de lo expuesto en este primer capítulo de análisis de las consecuencias de uso de combustibles de origen fósil se han extraído las siguientes conclusiones:

- La producción petrolífera a nivel mundial ha alcanzado su cénit (pico petrolero) probablemente a mediados de la primera década del s. XXI
- La demanda se ha visto reducida por diversos motivos desde finales de esa primera década hasta la actualidad:
  - La conocida como crisis económica iniciada a mediados de 2008 ha hecho entrar en recesión gran parte de las economías occidentales, reduciendo así de forma significativa su consumo de combustibles.
  - El incremento de los precios del petróleo y las sucesivas crisis a lo largo del s. XX que han provocado incrementos en su precio de forma explosiva han llevado a los

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

países más dependientes del mismo a adoptar políticas de mayor eficiencia y menor consumo energético.

- El ritmo de crecimiento en la producción petrolífera a lo largo del s. XX ha sido exponencial, particularmente en las últimas 2 décadas del mismo. Cabe la posibilidad de que el decrecimiento sea simétrico decreciente a partir del cenit.
- En cuanto a las reservas petrolíferas es posible concluir:
  - Las reservas estimadas en la actualidad son más costosas de extraer que los yacimientos actuales.
  - Dichas reservas conocidas no pueden incrementar la producción, son inferiores al ritmo productivo actual.
  - Los descubrimientos de nuevos yacimientos han ido decreciendo a la par que estos, no se esperan grandes descubrimientos que palién la pérdida de producción.
- Acerca de las emisiones:
  - Las emisiones de gases por parte del sector del transporte suponen un motivo de preocupación desde el punto de vista tanto ambiental como de salud pública, particularmente en áreas urbanas.
  - Gracias a las tecnologías de la información la población cuenta cada día con más datos acerca de los efectos de las emisiones sobre la salud humana y el medioambiente.
  - Particularmente en occidente, la población ha ido tomando cada vez más conciencia en los últimos años acerca de los efectos de las emisiones sobre el medioambiente y la salud humana.
  - Debido a lo anterior la legislación es cada vez más restrictiva y tiende a favorecer la reducción en el consumo de energía así como su eficiencia en el uso.
  - Las emisiones del sistema de transporte por carretera nacional suponen alrededor de un 25% del total de emisiones, de media.
  - Se estima que las emisiones procedentes del sistema de transporte suponen alrededor del 75% de los contaminantes urbanos.
  - En muchos casos existe ya una relación directa entre ciertas enfermedades y su ocurrencia con la contaminación, particularmente en entorno urbano.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- La influencia de los factores políticos en el mercado de los combustibles fósiles:
  - Los principales países consumidores de combustibles de origen fósil no son capaces de producirlo o lo producen en cantidades inferiores a sus necesidades.
  - A lo largo de la historia, particularmente la segunda mitad del s. XX las tensiones en países productores han conllevado incrementos notables en el precio del crudo y dificultades de suministro.
  - La producción y el suministro de petróleo y sus derivados se concentran en apenas una docena de países.
  - La alta concentración de los productores de petróleo y sus derivados da una gran fuerza en la escena política a dichos países.
  - Las economías de los países fuertemente dependientes del petróleo y con poca o nula capacidad de producción del mismo pueden ser rehenes de sus suministradores.
  
- El sistema español de producción de energía eléctrica:
  - Actualmente la mayor parte de la energía primaria consumida en España son fuentes no renovables importadas del exterior.
  - La dependencia energética de España es de aproximadamente el 76% respecto al total del consumo anual.
  - La dependencia energética del exterior en el caso de la energía eléctrica se reduce al 40%, dada la posibilidad de generar energía eléctrica mediante fuentes radicadas en el país. Igualmente, la existen yacimientos propios de uranio que permiten la operación de las centrales nucleares.
  - Aunque el petróleo es la principal fuente de energía primaria utilizada en España, en la producción de energía eléctrica su uso es prácticamente nulo en sus derivados líquidos.
  - Aproximadamente el 40% de la producción de energía eléctrica proviene de fuentes renovables y producibles en el país.
  - Destaca la escasa producción de energía eléctrica solar pese a las buenas condiciones teóricas para su implantación en el país.
  - La emisión de CO<sub>2</sub> por kWh producido de electricidad es de 0.29kg, por lo que las emisiones globales pueden llegar a reducirse entre un 60 y un 80% mediante el uso de vehículos eléctricos si se comparan con sus homólogos térmicos.

### **3. Alternativas actuales y en un futuro inmediato a los vehículos con motor de combustión.**

#### **3.1. Introducción.**

Dada la serie de problemas que hemos comentado en el punto anterior, han surgido en los últimos años (fundamentalmente en las últimas dos décadas) una serie de alternativas al vehículo movido mediante MACI con el objeto de eliminar o mitigar algunos de dichos inconvenientes.

Algunas de estas alternativas ya están implementadas en su totalidad o prácticamente en la actualidad mientras otras apenas han pasado de la síntesis teórica o de una fase de desarrollo experimental. A continuación vamos a realizar un pequeño análisis del estado actual de la técnica y la tecnología de las alternativas más viables y prometedoras tanto en la actualidad como en un futuro inmediato, observando sus principales logros, ventajas y promesas, así como sus principales inconvenientes y barreras.

Las alternativas a los vehículos movidos por MACI consisten fundamentalmente en el cambio de fuente energética, o en una combinación de diferentes fuentes. Así, podemos citar como medios actualmente en uso o más prometedores de cara a un futuro próximo a los vehículos híbridos, vehículos que usan biocombustibles, eléctricos por acumulación de energía eléctrica y eléctricos de pila de combustible, usando acumuladores de hidrógeno.

#### **3.2. Vehículos híbridos.**

Como su nombre indica, se trata de vehículos que a una fuente tradicional de combustión unen una segunda fuente de energía (eléctrica, neumática, hidráulica, mecánica...) en combinación con la primera para reducir, en la medida de lo posible, algunos de los problemas antes mencionados. Fundamentalmente se trata de reducir el consumo de combustible para el motor MACI, gasolina, diésel, etc.; mediante el empleo de una energía alternativa.

Los vehículos híbridos vieron su nacimiento de forma comercial a finales de los años 90 en Japón. En 1997 Toyota lanzaba en el mercado japonés el Prius, el primer híbrido de la historia y en 2001 era lanzado de forma mundial a los mercados estadounidense y europeo. Desde entonces este vehículo se ha considerado como el emblema de los vehículos híbridos a escala mundial y actualmente va por la tercera generación con unas ventas globales satisfactorias.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Los vehículos híbridos pueden clasificarse de diversas maneras, pero inicialmente vamos a clasificarlos en función del tipo de energía secundaria que utiliza:

- Vehículos híbridos eléctricos.
- Vehículos híbridos mecánicos.
- Vehículos híbridos neumáticos.
- Vehículos híbridos hidráulicos.

## **3.2.1 Vehículos híbridos eléctricos.**

En primer lugar, vamos a hablar de los vehículos híbridos eléctricos, sus principales características e inconvenientes. Los vehículos híbridos eléctricos son, como su nombre indica, aquellos vehículos híbridos en los cuales la energía secundaria empleada es la eléctrica. Los vehículos híbridos de tipo eléctrico pueden a su vez clasificarse de diversas maneras, siendo lo más habitual según la cadena de transmisión (arquitectura de la misma) que utilice. Así tenemos:

- Sistema en paralelo.
- Sistema en serie.
- Sistema combinado.

Como es de esperar, la principal ventaja de estos vehículos radica en el ahorro de combustible (y emisiones) pudiendo llegar hasta un 46%<sup>11</sup> en el caso de este y hasta un 90% en el caso de las emisiones. Esto es así debido a que por el funcionamiento del motor térmico, los momentos de mayor consumo y mayor emisión se dan en las aceleraciones (arranque), especialmente si el motor está “frio” (lleva poco tiempo circulando y no ha alcanzado la temperatura óptima de funcionamiento), a lo que se suma el hecho de que más del 50% del kilometraje anual promedio se realiza en ciudad y que éste suele consistir en desplazamientos cortos e inmediatos con gran cantidad de aceleraciones y frenadas.

Por el contrario, las principales desventajas de este tipo de vehículos al igual que veremos posteriormente al analizar los vehículos eléctricos aunque en menor medida, reside en el precio, fundamentalmente, de las baterías. El alto costo de las mismas y la baja capacidad de almacenamiento en relación al mismo elevan el costo de adquisición de este tipo de vehículos y hasta hace poco tiempo ha sido el causante de grandes reticencias por parte de muchos consumidores a este tipo de vehículos. Aunque el devenir de los tiempos y el avance de la tecnología han reducido el coste de los mismos y aumentado la capacidad de las baterías, siguen siendo estos los principales problemas que enfrentan los vehículos híbridos.

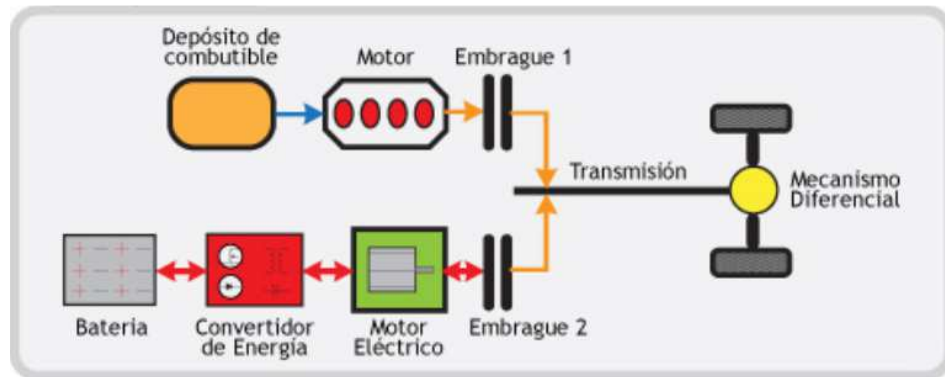
- Sistema en paralelo: En el llamado sistema híbrido en paralelo el motor eléctrico se halla conectado de forma independiente y puede transmitir potencia a las ruedas, sea al eje delantero o trasero. En este tipo de configuración se busca que el motor eléctrico, actuando

---

<sup>11</sup> Fuente: Toyota, departamento de prensa. Comúnmente el ahorro real aceptado entre las publicaciones especializadas de motor oscila alrededor del 30/35%.

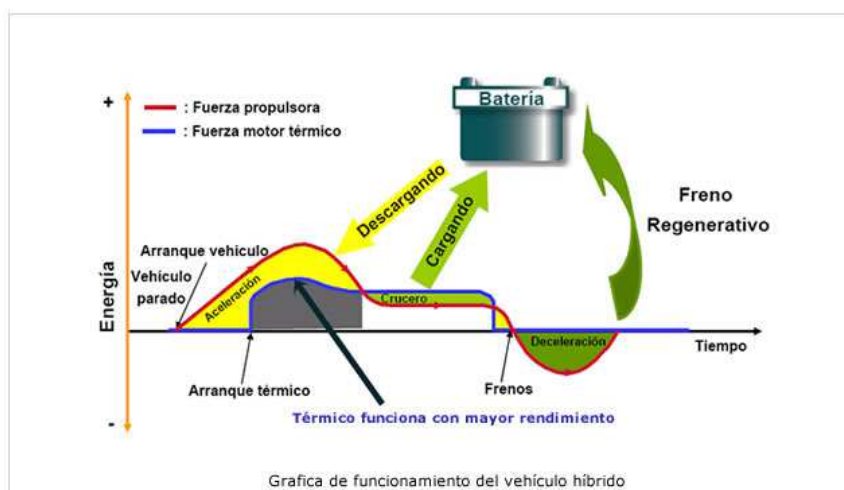
# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

como apoyo, reduzca la necesidad de energía del MACI en las situaciones que requieran mayor gasto de energía como aceleraciones y pendientes.



*Figura 3.1:* Esquema arquitectura de la cadena cinemática de un vehículo híbrido en configuración paralela. Fuente: Ecconex.com

En este tipo de situaciones el motor térmico se ve obligado a proporcionar mayor potencia y a trabajar fuera de su rango óptimo de revoluciones, decayendo su rendimiento y resultando en un incremento del consumo de combustible y en consecuencia, de las emisiones a la atmósfera. Esto es posible paliarlo en parte añadiendo un motor (o varios) eléctrico que surta esa necesidad de potencia extra, tratando, en la medida de lo posible, de mantener el motor térmico dentro de unos márgenes de funcionamiento óptimos. Este motor eléctrico es suministrado de energía eléctrica mediante unas baterías de acumulación instaladas en el propio coche y mediante los llamados sistemas de regeneración (frenado regenerativo), es decir, sistemas de generación de energía que aprovechan la rotación de las ruedas (o eje) para la generación de energía, de manera inversa a lo realizado para apoyar al motor térmico, mientras se realiza el frenado del vehículo. De esta forma se realiza un mejor aprovechamiento de la energía del motor térmico, usándolo en condiciones más cercanas a las ideales, mientras se utiliza para estas situaciones más desfavorable energía eléctrica, con un rendimiento mayor (el rendimiento de un motor térmico apenas alcanza un 35% en condiciones óptimas, mientras un motor eléctrico supera el 70%).



*Figura 3.2:* Esquema de uso de la energía por parte de un vehículo híbrido en configuración paralela.

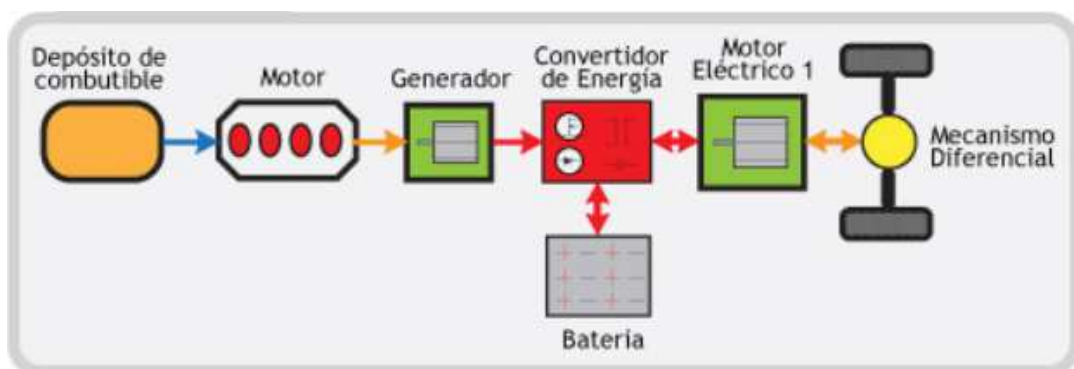


## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

En los híbridos de las primeras generaciones (y en la mayoría de los actuales) la energía eléctrica se almacena en unas baterías y se genera bien mediante los sistemas de frenado regenerativo o bien mediante el motor de combustión, que transforma parte de su energía en eléctrica y la almacena para su uso posterior. Desde hace algunos años han aparecido en el mercado vehículos híbridos eléctricos de configuración en paralelo con baterías que pueden ser cargadas tanto en enchufes específicamente diseñados para ello como en algunos casos, enchufes domésticos; de esta forma es posible recargar las baterías sin necesidad de que entre en acción el motor térmico. Un ejemplo de este tipo de vehículos es el Honda Insight.

- Sistema en serie: algunos fabricantes también llaman a los vehículos con este sistema eléctricos con rango extendido. A diferencia de los híbridos en serie, en este modo de funcionamiento el motor de combustión sólo se utiliza para recargar las baterías y no está directamente engranado con la cadena de transmisión del vehículo, correspondiéndole la tracción únicamente al motor o los motores eléctricos. Dado que además la mayoría de los recientes vehículos de este tipo son enchufables, permiten recargar las baterías, de forma que es factible dependiendo de las distancias y de si se dispone de tiempo para la recarga, realizar toda la conducción en modo eléctrico, ahorrándonos por completo el combustible y evitando emisiones de gases de ningún tipo.



*Figura 3.3: Esquema arquitectura de la cadena cinemática de un vehículo híbrido en configuración en serie. Fuente: Ecconex.com*

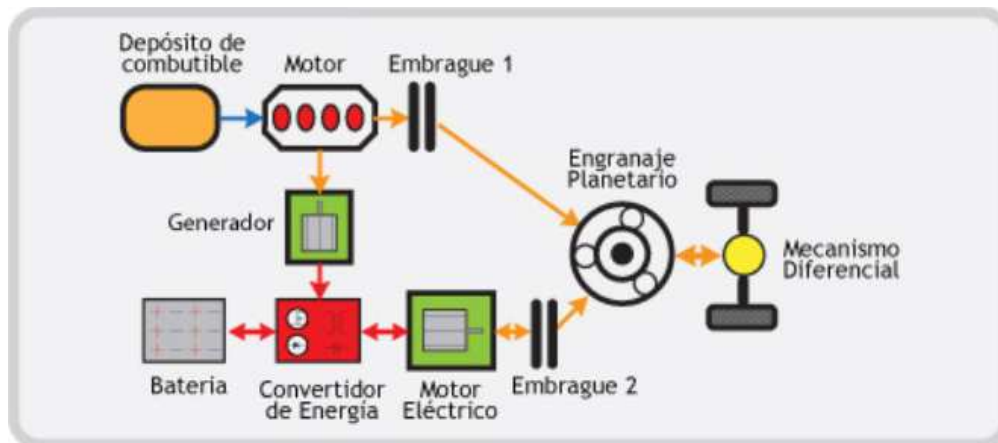
Como podemos imaginar, ya no es posible hablar como los híbridos en paralelo de una disminución del consumo de combustible en un X%, dado que si las condiciones de conducción lo permiten es posible realizar una conducción 100% eléctrica eliminando por completo las emisiones. Un ejemplo de este tipo de vehículos lo constituye el Chevrolet Volt/Opel Ampera.

- Sistema combinado: como su nombre indica, en este tipo de arquitectura de la cadena de transmisión del automóvil se mezclan los dos sistemas anteriormente citados. Básicamente se trata de un sistema híbrido en paralelo con mayor capacidad en las baterías y mayor potencia en el motor eléctrico, pero que sigue dependiendo del motor térmico para la mayor parte de los desplazamientos por carretera, en condiciones de conducción donde los requerimientos de potencia sean más elevados. En principio, la idea es utilizar el motor eléctrico para el

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

arranque, no sólo como apoyo al motor térmico, sino de forma individual, hasta una cierta necesidad de potencia, donde ya incapaz el motor eléctrico por sí mismo entraría en la cadena el motor térmico.



*Figura 3.4: Esquema arquitectura de la cadena cinemática de un vehículo híbrido en configuración combinada. Fuente: Ecconex.com*

Esto está pensado así por que en la actualidad en países desarrollados como Japón, países de Europa o Estados Unidos, la mayor parte de la población es urbana y gran parte del recorrido que realizan los automóviles a diario es de este tipo. Por ello, como hemos comentado antes, utilizar el motor eléctrico para impulsar el coche cuando la demanda de energía es menor (movimiento a bajas velocidades con poca aceleración) ahorra gran parte de la energía. Ejemplos de este tipo de vehículos son los Toyota, entre ellos el conocido Toyota Prius.

## **3.2.2 Vehículos híbridos mecánicos.**

Mucho menos extendidos que los híbridos eléctricos, los vehículos híbridos mecánicos parten de una concepción similar a los anteriores pero varían en el tipo de energía a emplear, en este caso energía mecánica (cinética), que es almacenada en un volante de inercia encapsulado en una cámara de vacío girando a muy alta velocidad.

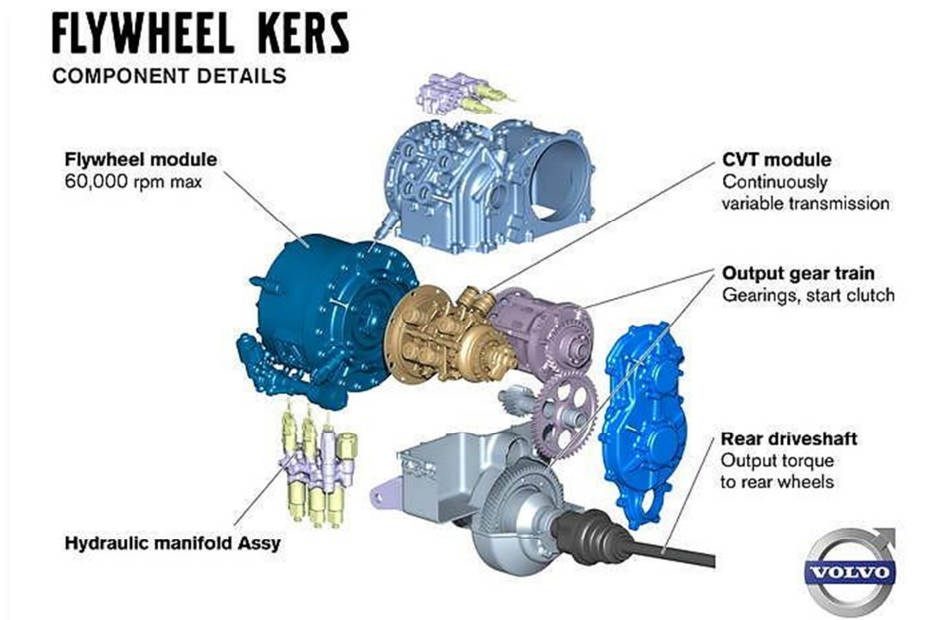
En la actualidad no existe ningún vehículo comercializado que cuente con este sistema, pero es reseñable por que se trata de un modelo en estudio por parte de una marca como Volvo que valora la posibilidad de incluirlo en sus próximos modelos.

El sistema en estudio por Volvo ha sido el M-KERS, diseñado por Ricardo y Torotrak, consiste en un volante de inercia encapsulado capaz de girar a alrededor de 60.000 rpm y conectado a la transmisión de manera directa a través de una caja de cambios continua de tipo variable. No fue hasta el desarrollo de esta última cuando el sistema pasó a tener cierta viabilidad técnica, dado que hasta entonces el principal problema residía en el hecho de tener que liberar la energía del volante de forma inmediata y brusca sobre la cadena de transmisión, pero con la llegada de la caja de cambios

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

continúa pero de transmisión variable fue posible entregar la potencia retenida en el volante de forma gradual.



*Figura 3.5: esquema del sistema Flywheel Kers o M-KERS de Torotrak de estudio en Volvo. Fuente: Volvo Press.*

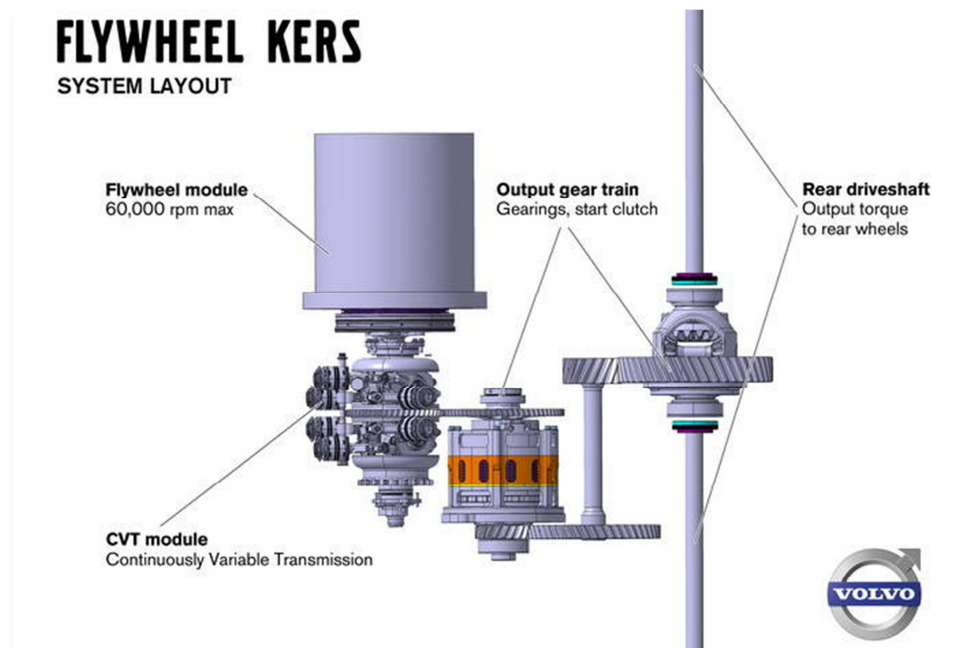
El sistema puede ser conectado durante períodos de unos 10 segundos y proporciona un salto de potencia de hasta 80CV como máximo, con una finalidad similar al sistema empleado en los híbridos en paralelo, al aplicársele este método en los momentos en que el motor térmico está más solicitado (aceleraciones y pendientes).

Las principales ventajas del sistema radican en una mayor simplicidad frente a los sistemas híbridos eléctricos (no hay componentes de este tipo en el mismo) y por consiguiente una reducción importante del coste junto con una disminución del peso, pues el propio volante pesa tan sólo 6 kilogramos.

Según Volvo, el sistema ha sido testado en un Volvo V60 consiguiendo una reducción aparente de consumo del 25% frente a un modelo convencional similar con costes muy reducidos (no han sido facilitados).

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---



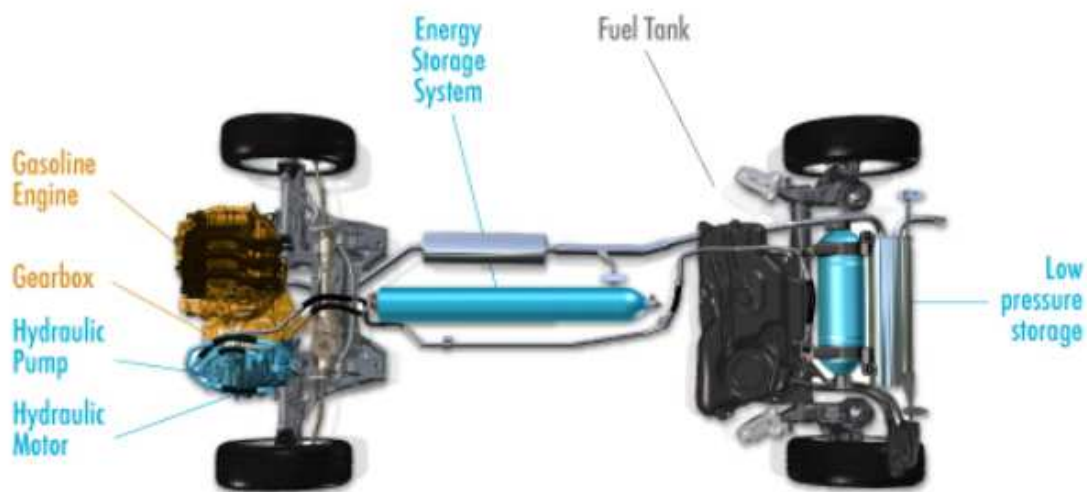
*Figura 3.6:* Esquema de la arquitectura del sistema de transmisión del M-KERS en un Volvo. Fuente: departamento de prensa de Volvo.

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

### **3.2.3 Vehículos híbridos neumáticos.**

Al igual que sus hermanos eléctricos y mecánicos, este sistema consiste en combinar parte de la energía obtenida en el motor de combustión por otro tipo de energía, en este caso, hidráulica.

El sistema, patentado por Bosch y PSA y llamado Hybrid Air por PSA, funciona de nuevo de forma similar a un híbrido en paralelo, donde a la cadena cinemática tradicional le añadimos una nueva de tipo hidráulica, compuesta fundamentalmente de un motor hidráulico y dos depósitos de fluido hidráulico, uno para alta y muy alta presión y otro para baja.



**Figura 3.7: Esquema de la cadena de transmisión de un Citroën C3 con el sistema híbrido Hybrid Air. Fuente: PSA-Peugeot-Citroën.**

Similarmente al sistema híbrido mecánico, este sistema comparte con él la mayoría de ventajas. Pese a requerir más elementos y tener una mayor complejidad, es un sistema más sencillo y accesible desde el punto de vista económico que el sistema híbrido eléctrico y a diferencia del mecánico, la capacidad de almacenamiento del mismo es superior. Siempre según cifras del departamento de prensa del grupo PSA, instalado en un Citroën C3 es posible obtener un consumo homologado según el ciclo europeo NEDC de 2.9 l/100 km y emisiones de CO<sub>2</sub> de 69 gr./km, aproximadamente un 35% menos que los modelos comunes sin este sistema. Igualmente, según PSA, estiman que con la cantidad de energía almacenada por el sistema pueden llegar a realizarse del orden del 80% de los desplazamientos diarios usando la energía hidráulica.

Su máximo interés reside en que económicamente los elementos son más sencillos que en el híbrido eléctrico, es una tecnología muy madura y conocida y su coste es bastante inferior, de forma que está pensada para equipar vehículos de segmentos de pequeño tamaño de una marca generalista a costes más ajustados.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **3.3. Vehículos que usan combustibles de origen vegetal.**

También llamados biocarburantes o biocombustibles, son carburantes para motores de combustión interna formados parcialmente por combustibles de origen vegetal mezclados con gasolinas o gasóleo convencional. Existen fundamentalmente dos tipos distintos de biocombustibles como son por un lado los alcoholes para su mezcla con gasolinas y los aceitosos para su mezcla con gasóleo.

Los alcoholes(etanol) se obtienen por fermentación alcohólica de los azúcares del almidón presente en muchas plantas, de forma que se suelen obtener de algunas tales como la remolacha, la melaza, la caña de azúcar, el maíz, la patata o la yuca.

En el caso del conocido como biodiesel, este se obtiene de la esterificación y transesterificación de lípidos de origen vegetal o animal, pudiendo mezclarse con el gasóleo convencional o sustituirlo por completo. Entre sus propiedades destacan un mayor poder lubricante que el gasóleo convencional, lo que hace que alargue la vida de inyectores y otros componentes de tipo mecánico del motor, tiene una capacidad calorífica alrededor de un 10% inferior al gasóleo de origen fósil y requiere de la sustitución de elementos de caucho y ciertos polímeros plásticos, dado que los ataca químicamente. Carece en su práctica totalidad de contenido en azufre y disminuye hasta en un 90% alguno de los principales contaminantes en relación a los emitidos por el gasóleo convencional, tales como los óxidos de azufre, de nitrógeno, partículas volátiles, etc. En el caso del biodiesel es posible usar hasta B-80 sin necesidad de modificar los componentes del bloque motor, exceptuando los elementos de caucho independientemente de la proporción de biodiesel que se emplee.

En el caso de los alcoholes a la mezcla combustible con gasolina se le denomina por una “E” seguida de un número que indica el porcentaje de etanol presente en la mezcla y en el caso del biodiesel se actúa igual pero sustituyendo la letra “E” por la “B”, así, una gasolina E-10 significaría que dicha gasolina contiene un 10% de etanol de origen vegetal. Generalmente se estima y en algunos países se legisla, que el E-10 es viable técnicamente en los motores de combustión a gasolina actuales sin necesidad de modificación, no obstante, a partir de este 15% de etanol en la mezcla se hace necesario la modificación del motor como consecuencia de las diferentes características que posee el combustible, tales como un mayor octanaje. En algunos países el E-10 o E-15 (E-25 en Brasil) es obligatorio en sustitución o combinación con la gasolina común, mientras en otros como Suecia o EEUU existe la posibilidad de usar E-85 aunque en invierno suele reducirse la mezcla hasta E-70 por dificultades en el arranque. En Brasil, el segundo productor mundial de etanol por detrás de EEUU, hasta el 50% de los vehículos han sufrido modificaciones en su planta motriz para adaptarla al uso de E-100, habiendo disminuido su dependencia de energía proveniente del petróleo.



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

A pesar de lo anteriormente comentado, los biocombustibles (y la palabra bio ya tiene sus detractores) no constituyen una alternativa viable ni desde el punto de vista técnico ni económico a los combustibles de origen fósil, si no que a lo sumo pueden llegar a complementarlos, exceptuando Brasil que es el único país en el que la mayor parte de su flota de vehículos puede ser abastecida mediante este tipo de combustibles dada la capacidad productiva del país, aunque medioambientalmente esto tampoco sea sostenible.

Aunque los biocombustibles puedan parecer atractivos, especialmente para los países que no poseen petróleo, realmente el único de los problemas derivados del uso de los combustibles fósiles que pueden atajar es el de la independencia energética y sólo parcialmente, dado que la capacidad productiva real a nivel mundial no alcanzaría para sustituir por completo a los combustibles de origen fósil al nivel de demanda actual ni al estimado a corto o medio plazo. Por poner un ejemplo, en la actualidad España sólo produce biodiesel alrededor de un 0.0022% del gasóleo total que consume y 0.015% de etanol respecto al total de gasolina consumida y entre esta producción y la importación apenas supone el 8,4% del consumo total de combustibles para transporte<sup>12</sup>. La Unión Europea ha reducido el objetivo de implantación de los mismos al 5% para 2020. No sólo eso, si no que en orden de obtener biocombustibles, es necesario dedicar más tierra cultivable a los mismos, por lo que o bien se sustituye cultivo destinado a alimentos lo que puede ocasionar problemas de abastecimiento en el caso más extremo, o bien se roturan nuevas tierras de bosque o selva, pudiendo ocasionar graves problemas de deforestación, como es el caso en países como Brasil, donde la selva amazónica ha visto su ritmo de decrecimiento aumentado por efecto de la producción de los biocombustibles. Tengamos en cuenta que una hectárea de caña de azúcar tiene un rendimiento aproximado de 3.200 litros por hectárea y año.

A este punto negativo se suma otro: aunque las emisiones de elementos contaminantes a la atmósfera son inferiores hasta en un 30% en Co y CO<sub>2</sub> a las gasolinas y las emisiones de partículas e hidrocarburos también son muy inferiores, no evitan al 100% la contaminación atmosférica y al seguir el mismo patrón de movimientos que los vehículos que usan combustibles tradicionales, no evitan la contaminación local particularmente en un entorno urbano.

Por todo ello, los biocombustibles son una apuesta actual para la reducción de emisiones en cierta medida y de la dependencia energética en mayor medida, pero la capacidad productiva real de los mismos es inferior a la demanda existente y por tanto desde el punto de vista económico no pueden sustituir a los combustibles de origen fósil.

---

<sup>12</sup> Fuente: CNE, informe biocarburantes Diciembre 2012.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **3.4. Vehículos eléctricos.**

El vehículo eléctrico es incluso anterior al vehículo de combustión interna, dado que apareció al igual que aquel a finales del s.XIX y su desarrollo inicial está considerado por algunos como anterior al MACI, pero por las limitaciones propias del sistema (que en la actualidad siguen siendo similares) y por las de la época su utilidad cayó frente al competidor surgido del MACI, en una época donde el uso del petróleo era escaso y su precio iba en consonancia. Los primeros MACI funcionaban con carbón pulverizado como combustible aunque pronto dejarían paso a los derivados del petróleo (gasolina y diésel).

La economía pues, se impuso, en un momento donde las condiciones de la misma eran tan diferentes a las actuales y donde las implicaciones políticas y ambientales o de salud no eran de la importancia actual.

Fue pues este factor el primordial para que el vehículo eléctrico fuera apartado de la carrera futura en el desarrollo humano y de nuevo es este factor uno de los predominantes en su vuelta a la misma, aunque como hemos visto no es privativo y en la sociedad del s. XXI factores como la política o el medioambiente también están contribuyendo a su regreso e implantación. Vamos a estudiar a continuación los diversos tipos de vehículos eléctricos que podemos encontrarnos actualmente tanto en el mercado como en estados de desarrollo avanzado, siendo fundamentalmente de dos tipos: el vehículo eléctrico mediante pila de combustible de hidrógeno y el vehículo eléctrico por almacenamiento de energía eléctrica mediante baterías.

Entre sus principales ventajas podemos contar varias que enfrentan de forma directa los problemas acarreados con el uso de combustibles fósiles antes expuestas, tales como emisiones nulas, menor contaminación acústica, posibilidad de generar la energía en el lugar de consumo evitando con ello largas cadenas de suministro y logísticas o problemas de tipo geopolítico. En el caso de las emisiones no acarrea la completa eliminación de las mismas sino que depende de las fuentes de energía primarias de obtención de energía eléctrica del sistema de producción, pero en cualquier caso permite una reducción significativa dado su mayor rendimiento así como un efecto localizador de los focos emisores de las mismas y la posible intervención sobre dichos focos con el objeto de reducir su impacto e importancia. Prácticamente elimina la mayor parte de la contaminación atmosférica local en el ámbito urbano y sus consecuencias.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

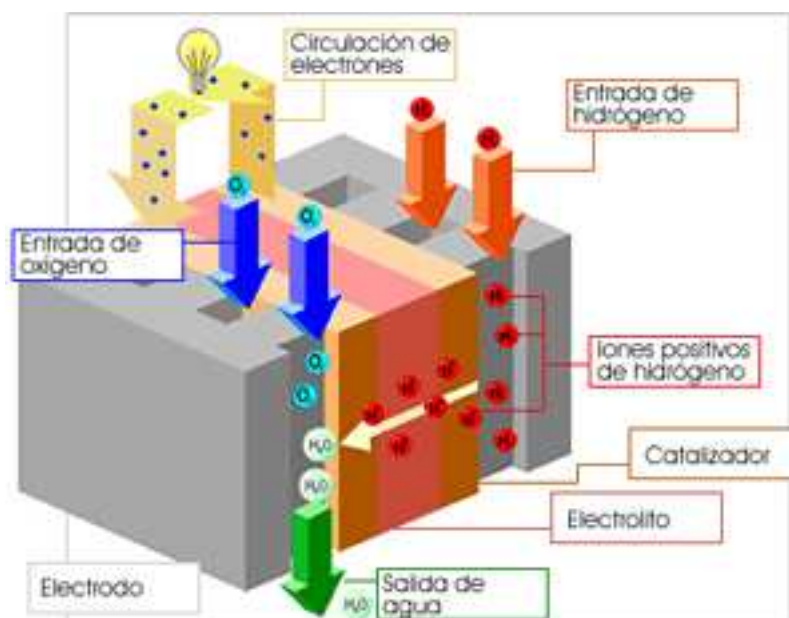
---

## **3.4.1. El vehículo eléctrico mediante pila de combustible.**

El vehículo eléctrico de pila de combustible, comúnmente conocido como vehículo de hidrógeno es un vehículo de tracción eléctrica que utiliza lo que se da en llamar una pila o celda de combustible para, mediante el uso de hidrógeno, paliar el principal hándicap del vehículo a baterías: la propia batería

El funcionamiento de la cadena cinemática es similar al el vehículo eléctrico por acumulación en baterías: una batería (aunque menor), un inversor/transformador y uno o varios motores eléctricos. Eso, en el apartado eléctrico. En el mecánico podríamos hablar de un reductor, caja de cambios (CVVT), etc. En cualquier caso, tanto el componente mecánico como el eléctrico/electrónico son los mismos en ambos.

Donde se aprecian las diferencias como hemos comentado es en la forma de almacenar la energía, pues en el caso del vehículo de pila de combustible nos encontramos con que para paliar los altos costos del desarrollo y fabricación de baterías se recurre al empleo de hidrógeno, en lo que se ha dado en llamar “vector energético”, es decir, no se contempla el hidrógeno como elemento de almacenamiento de energía eléctrica, si no como un método de transporte de esta, dado que a través de la conocida como pila de combustible es posible la oxidación del hidrógeno para transformarlo en agua liberando energía, mientras que para su obtención previamente ha sido necesario el desembolso de energía.



*Figura 3.7: esquema de funcionamiento de una pila de combustible. Fuente: Unizar.es.*

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Así pues, el vehículo eléctrico por pila de combustible posee una batería menor que la del eléctrico convencional, de tamaño similar aunque algo superior a la de los vehículos híbridos actuales y el mismo esquema eléctrico y mecánico de propulsión, pero añade ahora el sistema necesario para la carga, almacenamiento y uso del hidrógeno, a saber: uno o dos tanques de alta y/o baja presión donde se almacena el hidrógeno hasta 700 bares y la llamada pila de combustible donde se produce la reacción de oxidación que produce agua y electricidad con el consumo de hidrógeno. La pila de combustible es en realidad un concepto muy similar a la batería, con la diferencia de que permite la recarga de los reactivos de forma constante en lugar de ser devueltos estos a su estado inicial mediante el aporte de energía eléctrica como en las baterías recargables. La energía producida por la oxidación del hidrógeno del depósito a través de la pila se almacena temporalmente en la batería a la espera de su uso o bien se suministra al sistema eléctrico del vehículo de forma directa, emitiendo únicamente agua a la atmósfera y consumiendo el hidrógeno del depósito que por otro lado puede ser repuesto de forma similar a como actualmente se realiza con los combustibles fósiles.

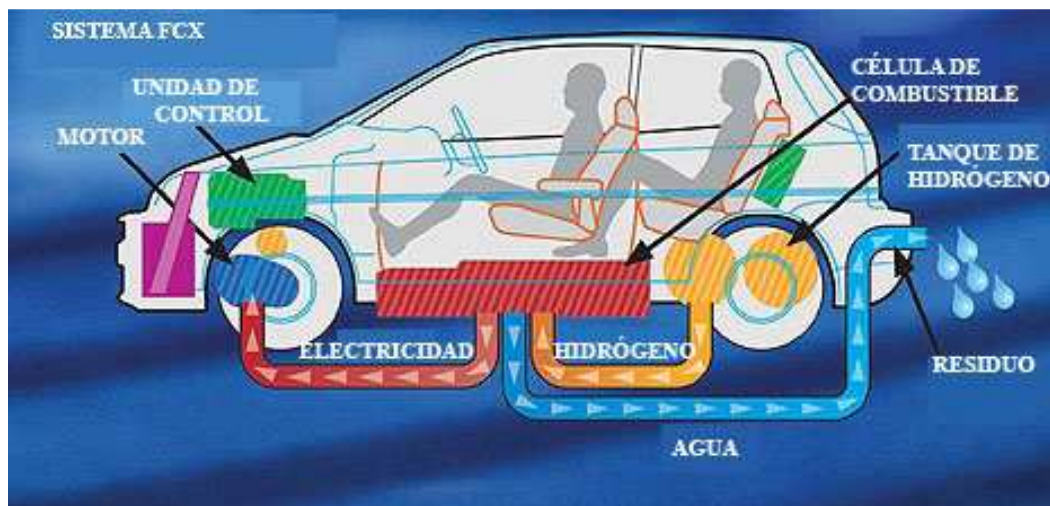


Figura 3.8: Esquema de funcionamiento de un vehículo con pila de hidrógeno. Fuente: Autopista.es

Podemos nombrar sus principales características:

- Fuente de energía: hidrógeno. Puede obtenerse fundamentalmente de dos formas, mediante electrólisis del agua o a partir de refinado del petróleo:
  - Obtención por electrólisis: mediante el paso de una corriente eléctrica a través de una corriente de agua es posible disociar la molécula de agua y separar el oxígeno del hidrógeno. Este proceso consume energía eléctrica y tiene una TRE (Tasa de Retorno Energético)  $< 1$ . En la actualidad se realiza de forma experimental mediante el uso de energías renovables, que si bien la TER sigue siendo inferior a la unidad, el uso de este tipo de energía hace que no se pague por su uso (descontando la amortización de instalaciones). Mediante este método es posible la generación en cualquier lugar del mundo donde exista una corriente de agua y sea posible generar o transportar electricidad. Permite la generación de hidrógeno mediante el empleo de energías renovables en los momentos de menor consumo cuando estas se apagarían (casos de la energía eólica o hidroeléctrica).

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

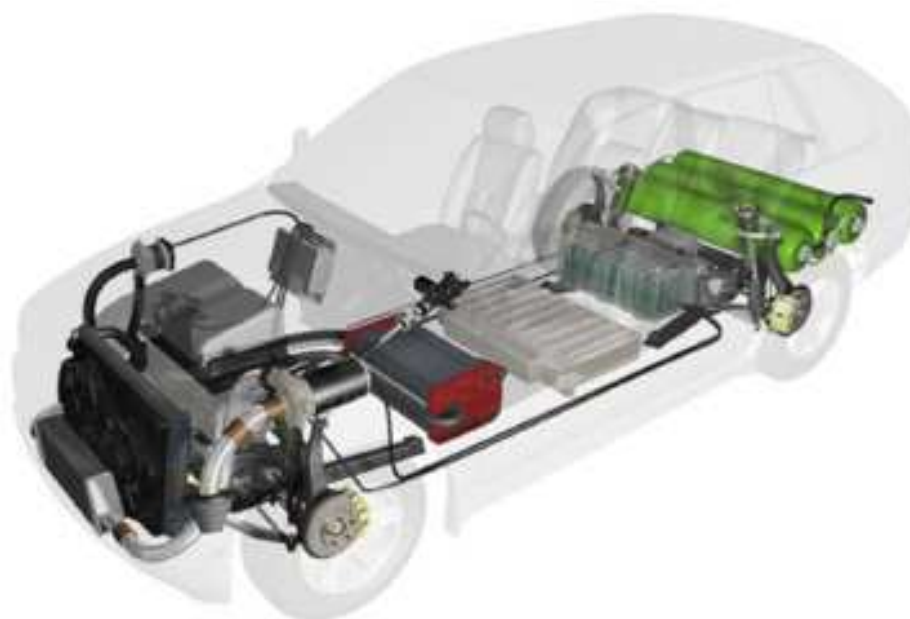
---

- Obtención a partir de hidrocarburos: principalmente se obtiene del reformado del gas natural, con una eficiencia de alrededor del 80%. Aunque reduce las emisiones globales en un 50% respecto del vehículo con motor térmico, no palía la dependencia de los hidrocarburos y todos los problemas asociados a ellos. Actualmente el 95% del hidrógeno generado en el mundo es mediante el conformado de gas natural.
- Diseño y fabricación del vehículo:
  - Diseño del almacenamiento de energía y de la cadena de transmisión: es un diseño más complejo que sus contrapartes térmicos y eléctricos, dado que a los componentes de la cadena de transmisión de un vehículo eléctrico añade los sistemas de almacenamiento y gestión del hidrógeno: tanques, pila de combustible, baterías. Por otra parte al llevar pila de combustible las baterías son mucho más pequeñas que en un vehículo eléctrico convencional, lo que ahorra algo de peso, espacio y coste.
  - Fabricación del vehículo: elementos propios del sistema de almacenamiento y gestión del hidrógeno, como la propia pila de combustible son muy caros: actualmente las pilas de combustible utilizan como catalizador de la reacción de oxidación platino, uno de los metales preciosos más caros del mundo, aunque se trabaja en su sustitución por polímeros. El tanque principal de almacenamiento también es pesado pues ha de resistir presiones entre 300 y 700 bares.
  - La falta de economías de escala: aunque es un problema que afecta por igual al vehículo eléctrico convencional, el escaso número de vehículos de esta tipo producidos, muchos de ellos apenas prototipos, hace que sus precios sean inasumibles: el único modelo comercial hasta la fecha, el Honda FCX Clarity está únicamente disponible en EEUU en modalidad de leasing por 600\$/mes, mientras Toyota tiene previsto lanzar al mercado su primer vehículo comercial de este tipo con un precio que oscilará entre los 50.000 y los 70.000 euros.
- Red de producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno: dicha red es prácticamente inexistente si exceptuamos la generación actual, pero sería totalmente necesario crear una red nueva dimensionada a las necesidades de dichos vehículos en todos los aspectos: generación, transporte y almacenaje.
- Impacto ambiental: emisiones y generación del hidrógeno.
  - Emisiones locales nulas: evita la mayor parte de la contaminación local como la generada por el tráfico en ambiente urbano (aprox. El 80% del total de gases provienen del tráfico). Si se emplea energía renovable para la obtención del hidrógeno las emisiones globales son 0, de hacerlo mediante el conformado de gas natural, las emisiones se estiman en alrededor de un 50% de las de un vehículo térmico.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Generación de hidrógeno mediante electrólisis: para generar hidrógeno mediante electrólisis es necesaria además de la energía eléctrica una corriente de agua, lo que puede llevar a importantes impactos sobre la fauna, flora, agricultura y consumo humano en países o regiones del interior. En la costa es posible usar el agua del mar, pero es necesario un tratado previo que elimine las sales disueltas así como organismos vivos.
- Conducción y usos:
  - Conducción y prestaciones similares a un vehículo térmico. Autonomía de hasta 500km por carga de hidrógeno. Costes asociados al consumo y mantenimiento inferiores a los de un coche térmico (menor número de averías), pero las averías pueden ser más costosas en función del elemento averiado.
  - Percepción de riesgo por parte de algunos conductores al llevar gas inflamable a muy alta presión.



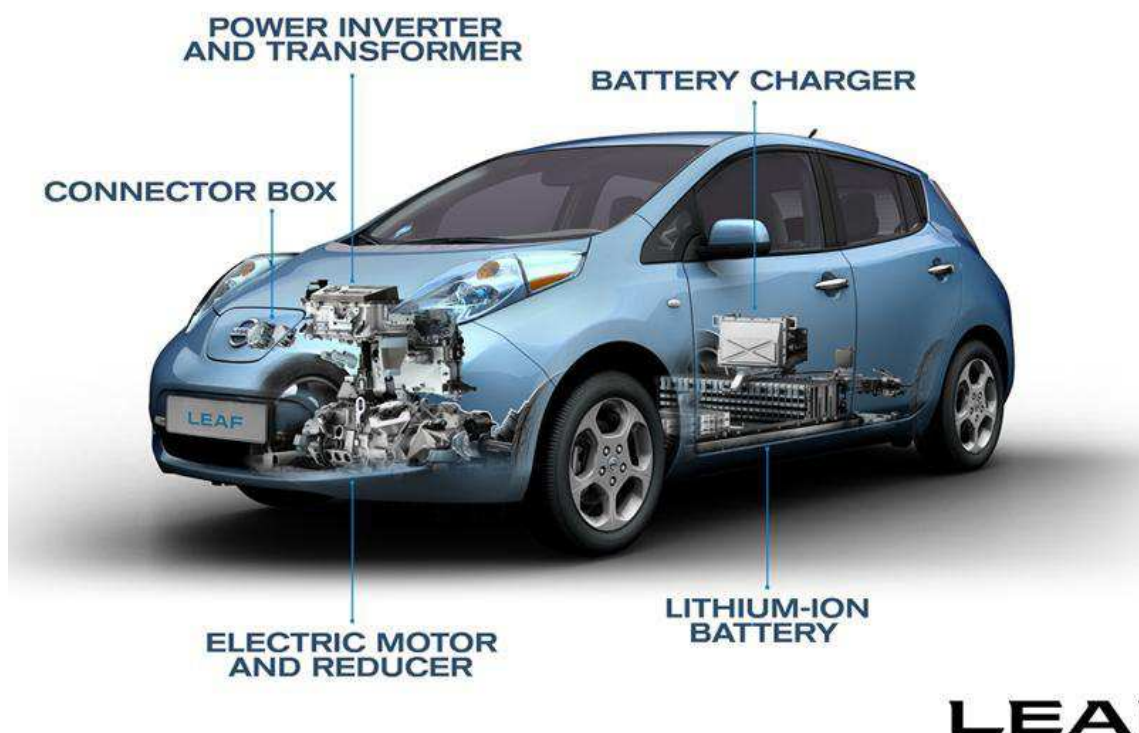
*Figura 3.9: esquema de almacenamiento de energía y cadena cinemática de un vehículo de hidrógeno. Fuente: GM.*

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

### 3.4.2. Vehículos eléctricos por almacenamiento de energía eléctrica en baterías.

El vehículo eléctrico por acumulación de energía eléctrica consiste en un vehículo impulsado por electricidad almacenada en una o varias baterías. Fundamentalmente se compone de un pack de baterías, un inversor/transformador que transforma la electricidad de corriente continua de las baterías a la alterna que usa el motor, un controlador electrónico que gestiona el paso de la electricidad del pack al motor, el motor eléctrico propiamente (o los motores) y un cargador para la toma de corriente para realizar la recarga de las baterías.



*Figura 3.10: Esquema de componentes de un Nissan LEAF. Fuente: Nissan España.*

En la imagen anterior de uno de los principales vehículos eléctricos a baterías, el Nissan Leaf, podemos observar los componentes antes citados, a saber: las baterías (en este caso de Iones de Litio), el cargador de baterías, el transformador/inversor que se encarga de la gestión de la energía eléctrica al motor, el motor propiamente dicho y un reductor mecánico o caja de cambios, normalmente de tipo transmisión variable continua CVT (Continuous Variable Trasmision).

En principio es un esquema de funcionamiento más sencillo que un automóvil de combustión interna dado que prescinde (no del todo) de sistemas asociados al mas complejo motor de combustión como son el sistema de refrigeración (algunos requieren sistemas de refrigeración de baterías, dependiendo del tipo de estas), el de lubricación y sus componentes (bomba, circuito, etc;), cajas de cambios más sencillas de transmisión variable continua (CVVT) o ausencia total de estas,



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

sistemas de escape y tratamiento de emisiones. Además, los motores eléctricos carecen casi por completo de necesidad de mantenimiento a lo largo de su vida útil.

Por otro lado, las baterías son el elemento clave en el automóvil eléctrico por acumulación, dado que son las que determinan, al menos en la actualidad, las capacidades del mismo así como gran parte de su coste. Actualmente son el foco en la investigación y el desarrollo del vehículo eléctrico por parte de todos los fabricantes.

Las principales características de cara a la implantación del vehículo eléctrico están íntimamente ligados al sistema de acumulación y su recarga:

- El sistema de acumulación (baterías):
  - Su elevado coste: en algunos vehículos eléctricos el coste del pack de baterías puede ser tan elevado como el del propio coche.
  - Su elevado peso: en la mayoría de los vehículos eléctricos el pack de baterías supone alrededor de 300 kg añadidos al vehículo para autonomías inferiores a 300km.
- La escasa autonomía: debido al elevado coste y peso de los packs de baterías, comúnmente la energía posible a acumular por un vehículo eléctrico suele ser escasa, en los mejores casos apenas alcanza los 300km mientras lo más habitual suelen ser autonomías que apenas superan el centenar.
- La recarga:
  - La escasa o casi inexistente red de recarga del vehículo eléctrico: a pesar de algunos planes ambiciosos a nivel europeo para aumentar el número de puntos de recarga públicos y con la excepción de algunos países en concreto, en la mayoría de países dicha infraestructura es prácticamente nula.
  - El tiempo y los costes de la recarga: en el modo de carga lenta la duración de la carga de baterías puede ser de hasta 8 horas para las escasas autonomías anteriormente expuestas. Así mismo, el coste de la instalación de puntos particulares de recarga es actualmente elevado. Si se realiza lo que se llama recarga rápida (a altas potencias eléctricas), la vida de la batería puede reducirse hasta un 30%.
- El coste de la energía: aunque los costes de la energía eléctrica son muy inferiores a los de los combustibles fósiles hay que pagar un precio por dicha energía, que en el caso de España es una de las más caras de Europa.
- Uso de energía eléctrica:
  - Energía primaria: Junto con el vehículo eléctrico de pila de combustible es el único tipo de vehículo disponible que no consume combustibles fósiles, si exceptuamos el origen primario de la energía eléctrica.
  - Red de generación: ya existe una red de generación y transporte de energía eléctrica.
- Emisiones: junto con el vehículo eléctrico de pila de combustible, es el único modo de locomoción que no emite ningún tipo de residuo al ambiente.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Eficiencia: la eficiencia de un vehículo eléctrico se sitúa desde la generación hasta la rueda en función de la misma entre el 37 y el 67% (dependiendo de su fuente primaria y si necesita transformación).
- Conducción y usos: conducción similar a la de un coche térmico, pero prestaciones inferiores. Coste de consumo de energía muy inferior, coste de mantenimiento muy inferior.

## **3.5. Conclusiones**

Debido a los inconvenientes que el masivo uso de combustibles de origen fósil genera y hemos comentado anteriormente, han surgido en los últimos 20 años y particularmente desde el comienzo del s. XXI, donde la conciencia acerca de esos inconvenientes ha crecido, una serie de alternativas que tratan de mitigar o eliminar dichos inconvenientes, con sus ventajas y sus nuevos inconvenientes:

- Los vehículos conocidos como híbridos no son capaces de eliminar por completo ninguno de los problemas asociados al uso de combustibles fósiles, dado que continúan siendo dependientes de los mismos para funcionar. Son capaces de reducir las emisiones, el consumo y la dependencia exterior de petróleo, pero no lo eliminan.
- Los vehículos híbridos reducen eficazmente el consumo de carburante en hasta un 30-35%<sup>13</sup> dependiendo del uso. Y las emisiones en similar medida.
- Los biocombustibles contribuyen a reducir la demanda exterior de petróleo y resultan menos nocivos en sus emisiones.
- Los biocombustibles tienen un impacto ambiental muy importante más allá de las propias emisiones, dado que pueden contribuir a la deforestación o al alza del precio de los alimentos si se sustituyen tierras de cultivo para alimento por cultivos para biocombustibles.
- Los biocombustibles no pueden sustituir a los combustibles fósiles dado que la superficie necesaria para abastecer la demanda de petróleo es muy superior a la técnicamente viable desde el punto de vista medioambiental.
- Los biocombustibles no eliminan la contaminación localizada dado que emiten gases nocivos, aunque sus emisiones son inferiores a aquellas provenientes de vehículos térmicos comunes y algunos compuestos son inexistentes en los mismos.
- Los vehículos híbridos eléctricos están bastante extendidos a día de hoy siendo una alternativa real a los vehículos alimentados únicamente por combustibles fósiles.
- Los vehículos híbridos eléctricos, debido a los componentes de su diseño, son más caros que un vehículo convencional, por ello no existen apenas híbridos eléctricos en los segmentos más asequibles del mercado automovilístico.

---

<sup>13</sup> Spritmonitor.de

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

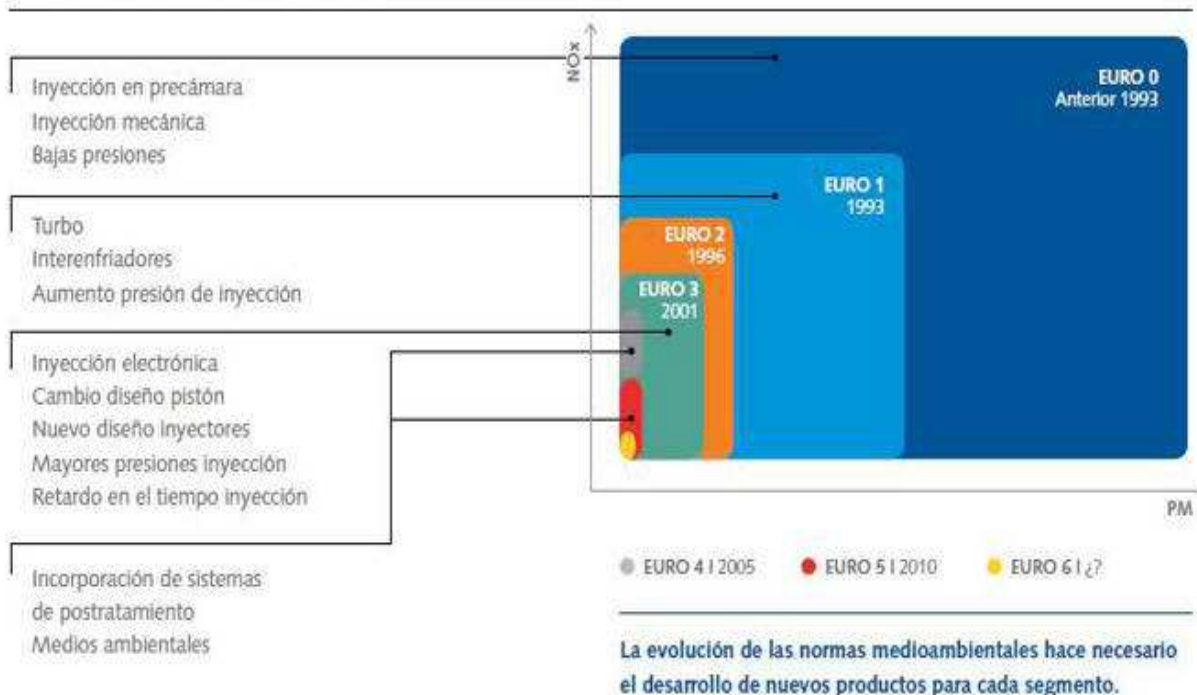
- Los vehículos híbridos mecánicos o incluso hidráulicos son más asequibles que los eléctricos y pueden ser introducidos en los segmentos más asequibles del mercado, aunque actualmente están en fase de desarrollo y no se les espera hasta dentro de al menos un par de años a escala global.
- Los vehículos eléctricos puros (de hidrógeno o batería) son los únicos que pueden enfrentar absolutamente todos los problemas generados por los combustibles fósiles.
- Los vehículos eléctricos que utilizan hidrógeno en una pila de combustible como fuente de energía enfrentan varios problemas de calado:
  - La generación del hidrógeno actualmente se realiza a través del tratamiento de gas natural, no evitando la emisión de contaminantes a la atmosfera. Generar hidrógeno a partir de la electrólisis es posible pero energéticamente no es rentable ( $TRE < 1$ ). Puede resultar oneroso desde el punto de vista económico y su impacto medioambiental puede ser importante, particularmente en países interiores (sin costa).
  - Los elementos que componen el almacenamiento y gestión del hidrógeno son costosos por los propios materiales que utilizan, aunque en la actualidad existen líneas de investigación para paliar este inconveniente, no es probable que se vean resultados a nivel de mercado en menos de una década.
  - No existe una red de generación, transporte o suministro de hidrógeno para el vehículo de hidrógeno. A diferencia de los vehículos híbridos, con una red completa en todos sus aspectos (combustibles fósiles) y los eléctricos mediante acumulación, que tienen parcialmente desarrollada dicha red (generación y transporte), la red para el uso del hidrógeno en automoción no existe como tal y debería ser desarrollada por completo en todas sus vertientes.
- Tanto los vehículos eléctricos por acumulación como por hidrógeno son costosos de producir debido a que no se benefician, al menos de momento, de economías de escala ni en el vehículo en si ni sus componentes.
- Los vehículos eléctricos por acumulación tienen en las baterías su principal inconveniente, dado que suponen un peso y coste excesivos en muchos aspectos.
- El precio de las baterías es una grave barrera para la introducción de los vehículos eléctricos por acumulación, particularmente en los segmentos más asequibles del mercado.
- La red de apoyo necesaria para el vehículo eléctrico por acumulación se encuentra apenas parcialmente desarrollada, dado que la generación y transporte de electricidad ya están implementadas, pero carece de una red de recarga que haga su uso viable.
- La recarga de vehículo eléctrico por acumulación presenta varios inconvenientes.
  - En estaciones de recarga lenta la duración de la carga puede ser de varias horas



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- En estaciones de carga rápida la recarga en menos tiempo difícilmente baja de 15 minutos para el 80% de la batería, siendo lo normal algo más de 30 minutos para el 100% (aunque depende del tipo y capacidad de la batería así como del tipo de conector y su potencia).
- Un factor importante y no comentado anteriormente es el legislativo, tanto en lo concerniente a emisiones vehiculares como a fabricantes:
  - Por un lado, son conocidas las normas EURO en Europa y la normativa estadounidense de la EPA: en Europa, desde la aparición de la norma EURO I en 1993 que fijaba unos primeros estándares de emisiones se han ido sucediendo distintas normativas hasta la actualidad, cuando para 2015 se espera que entre en vigor la normativa EURO VI, cada vez más restrictivas en cuanto a emisiones tanto para vehículos gasolina como diésel (dependiendo de cada categoría e vehículo).

## Evolución tecnológica del parque



**Figura 3.11: evolución en las emisiones permitidas por vehículo en la UE según normas EURO. Fuente: Tecmovía.**

- Por otro lado, existe normativa comunitaria (CE 443/2009 y CE 715/2007) que impone un límite medio a la gama de vehículos de un fabricante en lo tocante a emisiones, tomando como medida el CO<sub>2</sub> en 130gr/km. Dicha medida pretende ser sustituida en un futuro cercano por la limitación de 95gr/km, aunque por el momento

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

la presión de los fabricantes alemanes ha conseguido suspenderla. No obstante a la hora de realizar el cómputo se tiene en cuenta toda la gama del fabricante, sus ventas por modelo y cada uno lleva asociado un multiplicador, de forma que el exceso en emisiones de un modelo puede ser subsanado con las inferiores emisiones de otro.

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **4. Estimación de costes de la implantación de la alternativa eléctrica por acumulación.**

En el siguiente capítulo se van a estudiar los principales costes para el usuario que quiera optar por la alternativa eléctrica por acumulación como medio de transporte en un vehículo de turismo. Se van a hacer los cálculos y las estimaciones basándonos en estudios anteriores de la materia así como en datos de carácter público o que hayan sido facilitados por los fabricantes. Estos datos no siempre se hayan disponibles y en ocasiones habrán de ser estimados tratando de dar la mayor exactitud posible a los cálculos.

### **4.1. Costes asociados a la fabricación de l vehículo eléctrico. El vehículo.**

Conocer con exactitud cuales son los costes de fabricación de un automóvil, no importa cual, es prácticamente imposible de forma pública dado que se trata de datos confidenciales y ninguna compañía manufacturera los facilita de forma precisa y pública.

No obstante, existen estudios que realizan estimaciones mediante comparaciones de los componentes de fabricación y sus precios de mercado y comparativas con datos conocidos de algunos fabricantes. Aquí hemos tomado el informe *Evaluation of Electric Vehicle Production and Operating Costs*<sup>14</sup>, que a pesar de que data de 1999, los aspectos generales en estudio no han variado y al tratarse de comparativas de la misma época las variables que entran en juego son las mismas. En todo caso, en los últimos 20 años el avance de la electrónica e informática ha sido incluso mayor que la rama mecánica tradicional en el sector del automóvil, con precios en decrecimiento en la primera en mayor medida al ser la segunda una rama mucho más madura en su desarrollo e implantación.

En primer lugar se analiza, respecto al precio final al por menor de un vehículo automóvil de tipo compacto, la proporción que cada parte de la cadena y los procesos de fabricación suponen.

---

<sup>14</sup> Center for Transportation Research, United States Department of Energy.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Cost Category	Share of MSRP (%)	Subcategory	Share of MSRP (%)
Manufacture	50		
Warranty	5		
Overhead	18-20		
		R&D and engineering	6-7
		Depreciation/amortization	5-6
		Corporate overhead	5
		Retirement and health	2
Selling	23-24		
		Distribution	20
		Advertising and dealer support	3-4
Sum of costs (avg.)	97.5		
Gross profit	2.5		
Total	100		

**Tabla 4.1: relación de coste de cada una de las partes que concurren para la fabricación y venta de un automóvil de turismo. Fuente: Evaluation of Electric Vehicle Production and Operating Costs.**

Así, en la tabla anterior se puede ver que la propia fabricación del vehículo supone alrededor del 50% del coste final<sup>15</sup> que el consumidor paga por él; el coste de la garantía, desarrollo, ingeniería, administración y gestión de la compañía y costes sociales como el pago de planes de pensiones y seguridad social suponen alrededor del 25% del coste final; a esto hay que añadir un 23% más aproximadamente que suponen los costes de distribución, publicidad y apoyo directo a los concesionarios (esfuerzos promocionales), para formar aproximadamente un 97.5% del coste final, resultando un margen para el fabricante del 2.5%, aunque hay que tener en cuenta que esto es una aproximación, dado que depende de multitud de factores y épocas. Por lo general, las marcas de lujo suelen jugar con márgenes mayores, en torno al 10% que las marcas llamadas generalistas que cuentan con los márgenes mencionados, entre 1 y 4%, con la excepción de las marcas asiáticas Toyota, Hyundai y Kia.

<sup>15</sup> MSRP: Manufacturer Suggested Retail Price: precio de venta al público sugerido por el fabricante.

Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

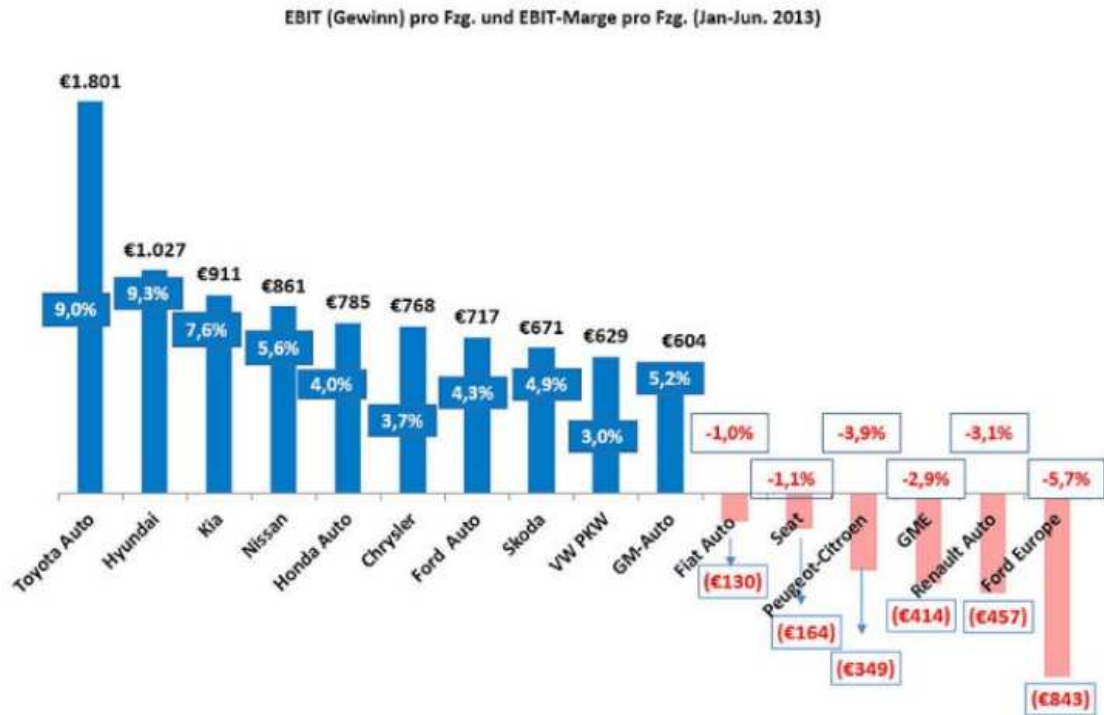


Figura 4.1: margen porcentual y cuantitativo medio por marca antes de impuestos en el mercado europeo en el año 2013. Marcas generalistas. Fuente: Focus.de.

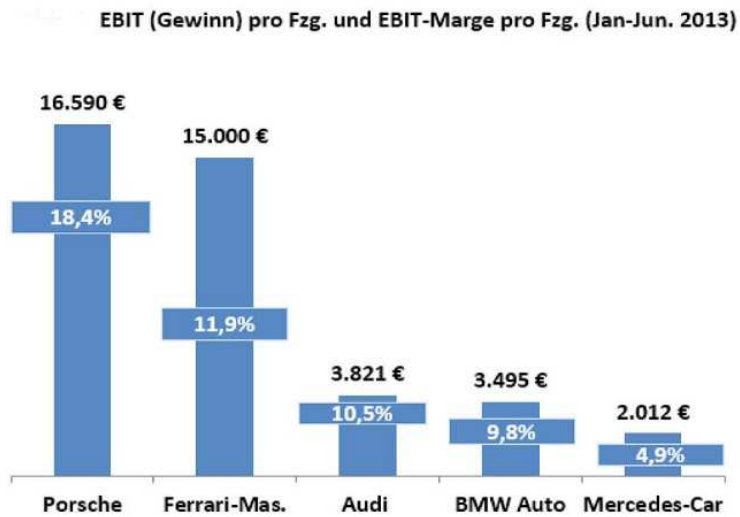


Figura 4.2: margen porcentual y cuantitativo medio por marca antes de impuestos en el mercado europeo en el año 2013. Marcas de lujo y superlujo. Fuente: Focus.de.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Component System	Subsystem	Share of Manufacturing Cost (%)	
		By System	By Sub-system
Body		26.46	
	Body-in-white		13.22
	Paint and coatings		0.13
	Glass		2.32
	Body trim and components		10.30
	Electrical components		0.50
Engine		21.53	
	Engine unit		18.50
	Engine accessories		2.33
	Engine electrical		0.70
Transmission		5.03	
	Transmission unit		4.95
	Transmission controls		0.08
Chassis		25.94	
	Frame		1.19
	Suspension		4.91
	Steering		0.97
	Brakes		2.97
	Exhaust system		3.01
	Fuel system		0.36
	Final drive		1.48
	Wheels and tires		5.19
	Bumpers, fenders, and shields		2.29
	Chassis electrical		0.83
	Accessories and tools		0.12
	Fluids		2.62
Vehicle assembly		21.04	
Total		100.00	

**Tabla 4.2:** relación de coste respecto del total de cada uno de los principales componentes de un automóvil convencional (térmico) respecto al total de costes de manufactura. Fuente: Evaluation of Electric Vehicle Production and Operating Costs.

En la tabla anterior es posible observar la proporción de costes de los principales componentes de un automóvil convencional respecto del total del coste de manufactura, donde la carrocería al completo ostenta alrededor del 25%, los componentes asociados al motor alrededor del 22%, la transmisión un 5%, los componentes del chasis (subchasis, suspensión, dirección, sistemas de frenado, etc;) suponen alrededor del 26% y el ensamblaje final de todos ellos aproximadamente el 21%.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Vehicle Group and Subgroup	Fully Common	Somewhat Common	Not Common
<b>Body group</b>			
Body-in-white	X		
Paint and coatings	X		
Glass	X		
Interior body trim	X		
Exterior body trim	X		
Seats	X		
Instrument panel		X	
Restraint system	X		
Body electrical components	X		
Heating, ventilating, and air-conditioning (HVAC)		X	
<b>Engine group</b>			
Base engine			X
Emissions control			X
Engine accessories			X
Engine electrical components			X
Cooling system			X
<b>Transmission group</b>			
Transaxle			X
Clutch and actuator			X
Transmission controls			X
<b>Chassis group</b>			
Frame	X		
Suspension	X		
Steering		X	
Brakes		X	
Exhaust system			X
Fuel storage			X
Final drive	X		
Wheels and tires	X		
Bumpers, fenders, and shields	X		
Chassis electrical components		X	
Accessories and tools	X		
Fluids		X	

**Tabla 4.3: resumen comparativo con las similitudes y diferencias entre los distintos grupos de componentes que conforman un vehículo convencional y uno eléctrico.**

En la tabla anterior es posible ver una comparativa de los diferentes componentes de un vehículo convencional y las similitudes en los mismos respecto a un vehículo eléctrico. Como era de esperar comparten la mayoría de componentes excepción hecha de aquellos relacionados con la transmisión, el almacenaje y distribución de combustible, sistemas de frenado y climatización y componentes eléctricos. En cuanto a los sistemas de frenado la principal diferencia radica en que pese a que el vehículo eléctrico posee un sistema de frenado similar al convencional, añade un sistema de regeneración energética normalmente a través del motor eléctrico (frenado regenerativo).



Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Attribute Type	Attribute	AC-Induction
Physical	Length (in.)	14
	Diameter (in.)	8
	Volume (in. <sup>3</sup> )	703
	Mass (lb)	115
Power	Maximum (kW)	67
	Specific power (W/lb)	583
Mfg. cost	Material cost (\$)	291
	Assembly and testing (\$)	125-194
	Total (\$)	416-485
Overhead and profit	Gross margin (\$)	82-97
OEM cost	Cost range (\$)	498-582
	Average (\$)	540
Other	Cost per peak kilowatt (\$)	8.1
	Mass per peak kilowatt (lb)	1.7
	Volume per peak kilowatt (in. <sup>3</sup> )	10.5

Tabla 4.4: estimación del coste de fabricación añadido debido al motor eléctrico de corriente continua.

Cost Contributor	Cost (\$)	
	DC	AC
Component costs	700-800	900-1,100
Assembly cost	100	100
Total mfg. cost	800-900	1,000-1,200
Supplier's margin @ 20%	160-180	200-240
Total OEM cost range	960-1,080	1,200-1,440
Cost range per kilowatt	13.7-15.4	17.1-20.6
Average cost	1,020	1,320
Average cost per kilowatt	14.6	18.9

Tabla 4.5: estimación de coste de los componentes electrónicos de control de un vehículo eléctrico.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Otro de los factores a tener en cuenta a la hora de estimar el coste de fabricación de un vehículo eléctrico reside en la forma en que este se va a fabricar, si va a ser una conversión de un modelo existente, si va a partir de la modificación en serie de un modelo existente (platform sharing) o si por el contrario se va a realizar un modelo completamente nuevo y una cadena de producción nueva asociada a dicho modelo. Es evidente que cada uno de los casos tiene sus ventajas y sus inconvenientes:

- En el primer caso, conversiones de un modelo previo ya construido, no implica el modificar la cadena de producción del modelo en vigor ni crear una nueva para el modelo eléctrico, si no la adición de nuevas instalaciones y herramientas para la conversión. La inversión requerida es baja pero la capacidad productiva también de forma que esta opción sólo se contempla para producciones escasas (100-500 Uds./año).
- En el segundo caso partimos de un modelo preexistente cuyo diseño es modificado para crear el vehículo eléctrico, por lo tanto no es necesaria la adición de una cadena de producción nueva, pero si es necesaria la modificación en algún punto (donde difiera el vehículo) la cadena de producción del vehículo tomado como base. Es un sistema productivo pensado para mayores volúmenes (<5000 Uds./año) que el caso anterior. Requiere una cierta inversión para la modificación de la cadena.
- En el tercer caso el objeto es tratado como cualquier otro modelo de nuevo lanzamiento y por tanto ha de ser implementada toda una cadena productiva nueva completamente. Este tipo de producción, en serie, requiere de grandes inversiones y sólo es rentable para producciones muy elevadas (>40.000 Uds./año).

En cualquiera de los casos será necesaria hacer una estimación de las ventas del modelo. Cada uno de ellos representa unos menores costes por unidad producida, particularmente el tercer caso, pero especialmente en este hay que ser cuidadoso dado que la inversión que conlleva puede ser elevada (alrededor de 250 mill. \$ para unas 20.000 Uds./año y hasta 800 mill. \$ para una producción de 100.000 Uds./año<sup>16</sup>). Por tanto, en función de la producción y de la demanda esperada la amortización por vehículo será mayor o menor y en consecuencia será su precio.

---

<sup>16</sup> Center for Transportation Research, United States Department of Energy.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Vehicle	Production Strategy	Volume	MSRP (\$)		
			Without Battery	With Pb-Acid	With Ni-MH
Subcompact	Conventional vehicle	High	13,000	NA <sup>a</sup>	NA
	Existing design	High	12,690	15,535	17,435
		Low	14,490	17,335	19,235
	New design	High	13,590	16,435	18,335
		Low	16,990	19,835	21,735
	Glider	Medium	13,325	16,170	18,070
	Glider (delete-only)	Medium	13,960	16,805	18,705
	Conversion	Very low	18,185	21,030	22,930

*Tabla 4.6: coste final estimado en función del método de producción escogido.*

En la tabla anterior se refleja que los costes de producción estimados dependen fuertemente no ya de los componentes empleados en su fabricación sino en gran medida del método de fabricación a seguir. Es de destacar como la fabricación a partir de un modelo ya existente es la opción que puede conseguir menores precios, pero no es lo más aconsejable cuando el vehículo que sirve como base tenga una gran demanda puesto que la fabricación del vehículo eléctrico tomará parte de la capacidad productiva. También es de destacar la diferencia en precio que puede darse en función de la cantidad de unidades fabricadas partiendo de un modelo nuevo, dado que existe una diferencia entre una baja y una alta producción de 3400\$, alrededor de un 25%.

Las conclusiones que se pueden extraer de lo expuesto:

- Dependiendo del coste de la energía eléctrica y de los combustibles fósiles el coste de operación y mantenimiento es favorable al vehículo eléctrico.
- La conversión de vehículos convencionales a eléctricos no es económicamente viable salvo en el caso de producción por lotes en pequeñas cantidades debido a la menor inversión total.
- Producir un vehículo eléctrico a partir de uno térmico ya existente aprovechando plataformas parece la opción más razonable para las ventas iniciales estimadas (<10.000 Uds./año).
- La producción de un vehículo eléctrico como desarrollo completamente nuevo sólo es razonable si lo justifica la demanda (>100.000 Uds./año). En ese caso el coste de fabricación del vehículo eléctrico es ligeramente inferior a sus homólogos térmicos.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Si se incluye el coste de las baterías en el coste total del vehículo eléctrico, este es sensible o notablemente (dependiendo del tipo y capacidad) superior a sus homólogos térmicos, haciendo difícil la adopción de este en sustitución de los otros y a pesar de que si se suman los costes de operación y mantenimiento la diferencia (teórica al menos) es ligeramente favorable al vehículo eléctrico.
- Es de esperar que desde la realización del informe a la actualidad (y ya contemplado en él entonces) el coste de los componentes electrónicos haya caído ligeramente debido a la evolución y maduración del mercado, mientras los costes asociados a los componentes de un vehículo convencional se han incrementado debido a las necesidades de mejora para aumentar su eficiencia (adición de turbocompresores, sistemas de reducción de emisiones, etc;).

Por tanto, una de las grandes cuestiones desde el punto de vista económico para la introducción en el mercado del vehículo eléctrico es la batería, la que además de determinar algunos aspectos técnicos vitales para el vehículo, es determinante a la hora de ofrecer un precio competitivo del mismo en el mercado.

## **4.2. Estimación de costes asociados a la fabricación de un vehículo eléctrico. Las baterías.**

### **4.2.1. La química de las baterías.**

Como se ha visto con anterioridad en diversos análisis, las baterías son el factor clave en el futuro devenir del vehículo eléctrico y su desarrollo futuro. A lo largo de la historia ha habido baterías de diversos tipos dependiendo fundamentalmente de la química que utilicen para la obtención de energía eléctrica aunque a día de hoy y de cara al futuro más próximo la práctica totalidad de los vehículos eléctricos cuentan con la química del Litio.

Podemos hacer una lista que englobe los distintos tipos de baterías desde el punto de vista de la química que utilizan:

#### ○ **Baterías plomo-ácido.**

Las baterías plomo-ácido son el tipo de batería común que se encuentra en todos los vehículos y que se utiliza para su arranque así como para dar energía para los distintos dispositivos eléctricos del mismo cuando el motor no está en funcionamiento. Son baterías sencillas, ampliamente difundidas y con una tecnología muy sobrepasada que alcanzan unos rendimientos del orden del 80%. Tienen unas densidades tanto energética como volumétrica muy bajas, de alrededor de **40Wh/Kg y 90Wh/l**, lo que las hace altamente ineficientes para ser usadas como baterías principales

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

en los vehículos eléctricos, dado que suponen mucho peso y volumen en comparación con la capacidad de almacenamiento de energía que poseen. Son de fácil fabricación y baratas.

## ○ **Baterías NiCd**

Las baterías de Níquel-Cadmio (NiCd) son ampliamente usadas en el mundo del modelismo y han llegado a ser usadas en los primeros automóviles eléctricos a principios del s.XX, pero tienen unas características similares a las de plomo-ácido en cuanto a sus densidades de energía, tanto específica como volumétrica, con un máximo de hasta **60Wh/kg** una densidad volumétrica en torno a los **150Wh/l**. Presentan además el conocido como “efecto memoria” que lleva a pérdidas temporales de capacidad de carga o permanentes con el tiempo en función de cómo se lleve a cargo la carga y su precio es similar a las baterías de plomo-ácido. Las baterías de NiCd tienen un rango de funcionamiento de entre -40 y +60°C y una duración en ciclos de carga-descarga de entre **2000** y **2500**, aunque su vida tiene gran dependencia de cómo sean dichos ciclos.

## ○ **Baterías NiMeH**

Las baterías Níquel-Metal-Hidruro, mejoran a las de Níquel-Cadmio. Poseen una densidad energética de aproximadamente **90Wh/kg**, una densidad volumétrica de unos **150Wh/l** y un reducido efecto memoria, pero por contra su velocidad de descarga es mayor. Una de sus mayores desventajas es la alta temperatura que pueden alcanzar durante su proceso de carga. Baterías de este tipo son algunas de las utilizadas por vehículos híbridos eléctricos como el Toyota Prius, el Honda Insight o el Ford Escape (sólo en EEUU). Adolecen por tanto de similares defectos a las de plomo-ácido o níquel-cadmio, fundamentalmente una baja densidad energética que prácticamente las retira de la posibilidad de ser la fuente de almacenamiento de vehículos puramente eléctricos. Las baterías de NiMeH tienen un limitado efecto memoria, pueden trabajar entre unos valores de tolerancias térmicas similares a los de las baterías de NiCd, pero sus ciclos de vida se reducen a alrededor de **1000** y son sensiblemente más costosas que las de NiCd.

## ○ **Baterías de Ión Litio.**

Aunque son conocidas como baterías de Ión litio de forma genérica, hay que hacer constar que existen diversos tipos de baterías en función del tipo de cátodo que utilicen, dado que en todas ellas el ánodo es Litio-Carbono. Así, nos podemos encontrar con:

- **Baterías de Litio-Cobalto** (Li Co O<sub>2</sub>), con densidades del orden de **170 a 180 Wh/kg**, pero de difícil uso en automóviles puesto que apenas tienen una vida de unos **500** ciclos.

- **Baterías de Litio-Hierro-Fosfato** (Li Fe P O<sub>2</sub>), con densidades de carga de entre **90 y 120Wh/kg**, son consideradas las más seguras, son las más baratas y además su vida se estima en hasta **2000** ciclos.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- **Baterías de Litio-Manganeso** ( $\text{Li Mn}_2 \text{O}_2$ ), estables, seguras y con una densidad de carga muy similar a las de Litio-Hierro-Fosfato aunque ligeramente menor.
- **Baterías de Litio-Níquel-Cobalto-Manganeso** ( $\text{Li Ni}_x \text{Co}_y \text{Mn}_z \text{O}_2$ ), con un coste razonable, son las baterías de Iones de Litio de última generación, con densidades de carga de entre **155 y 190 Wh/kg**, con vidas que alcanzan los **1500** ciclos de carga-descarga y voltajes más amplios que los demás tipos.
- **Baterías de Litio-Titanio** ( $\text{Li}_4 \text{Ti}_5 \text{O}_{12}$ ), otro tipo de baterías de Ión de Litio de reciente desarrollo con una densidad de carga notablemente menor, del orden de **100Wh/kg**, pero con una característica muy notable como es el hecho de que el número de ciclos de carga-descarga que puede soportar alcanza a superar los **12000**. Su coste es muy elevado.

	Plomo ácido	NiCd	NiMeH	Litio-Cobalto	Litio-Fe-P-O <sub>4</sub>	Litio-Mn	Li-Ni-Co-Mr	Litio-Titanio
Voltaje celdas(V)	2	1,2	1,3	3,2-3,7	3,2-3,7	3,2-3,7	3,2-3,7	3,2-3,7
Potencia W/kg	180	150	250	1800	600-3000	1700-2400	250-350	250-350
Eficiencia %	60-90	70-90	60-70	90	90	90	90	90
Den. Específica Wh/kg	40	40-60	80-100	130-140	80-115	85-100	155-190	65-90
Den. Volumétrica Wh/l	80	140	200	300-375	110-170	125-432	550	250
Autodescarga %/mes	5	20	30	10	10	10	10	10
Ciclos	300-500	1000-1500	500-1000	500	1000-3000	1000	1500	12000
Tª de trabajo(°C)	0-30	0-60		-30/+60	-10/+75	-20/+75	-20/+50	-20/+50

**Tabla 4.7: comparativa de las principales características de las baterías más extendidas en el uso para EV.**  
Fuente: elaboración propia.

Desde mediados de la primera década del s. XXI se han desarrollado fuertemente las baterías de Iones de Litio, en primer lugar para la electrónica de consumo, pues son las baterías con mayor densidad energética y específica y en la actualidad todos los aparatos electrónicos de consumo tales como teléfonos móviles, ordenadores portátiles, tabletas y reproductores de música utilizan esta tecnología. En segundo lugar, los rápidos avances en la materia han permitido su uso en el vehículo eléctrico, aunque a día de hoy no son capaces de dotarlo de unas prestaciones similares a un vehículo convencional a un precio contenido.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Ver *Battery Costs (The Committee for Climate Change)*, London, 2012. Hecho a lo largo de 2011 y editado a principios de 2012 con datos de 2009 a 2011, parte de sus predicciones han sido alcanzadas y otras incluso rebasadas, en menos tiempo del previsto.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Cathode	LCO Lithium Cobalt Oxide	LMO Lithium Manganese Oxide	NCA Lithium nickel cobalt aluminium oxide	NMC Lithium nickel manganese cobalt oxide	LFP Lithium iron phosphate
Type	Metal oxides				Polyanion
Energy	High				Low
Power	High				Low
Safety	Low	High	Low	High	High
Expected cost	High (Co)	Low	High (Ni, Co)	Medium to High (Ni, Co)	Low
Low temperature	High		Low	High	
High temperature	High	Low	Low	High	High
Cycle life	Low	High	High	High	High
Calendar life	High		High		

*Tabla 4.8: comparativa entre las principales cualidades de los diferentes tipos de baterías para vehículos eléctricos. Fuente: Battery Costs for EV (CCC).*

En la tabla anterior vemos algunas de las principales baterías de Litio, las más usadas, y sus principales características. Así, el desarrollo más reciente, las baterías de Litio-Óxido de Hierro-Fosfato ( $\text{LiFePO}_4$ ) parecen tener las mejores características actualmente. En la actualidad la línea de investigación en las baterías de iones de Litio es la aplicación de grafeno en el cátodo en forma de nanotubos, aligerando notablemente su peso.

En la actualidad existen numerosas investigaciones y desarrollos en el campo de las baterías particularmente para vehículos eléctricos, dado el desarrollo que han tenido estos en los últimos años. Existen nuevos compuestos químicos que prometen grandes aumentos en la densidad específica o volumétrica o en los ciclos de vida, aunque de momento no han salido del laboratorio.

- **Litio-Polímero:** son una evolución de las baterías de iones de Litio, sustituyendo las sales de litio que conforman el electrolito por un electrolito sólido de polímero como óxido de polietileno. Se espera una importante reducción de los costes frente a las baterías de iones de Litio, mayor robustez aunque con una ligera menor capacidad. Sus principales inconvenientes son un mayor tiempo de carga y una menor capacidad de descarga. Prototipos de laboratorio han alcanzado los 10.000 ciclos de carga/descarga, aunque lo habitual es que no pasen de 500.
- **Metal-Aire (Litio-Aire):** aunque también se encuentran disponibles baterías de Aluminio-Aire, aunque las celdas de este tipo tienen un voltaje bastante bajo, lo que implica la necesidad de combinar muchas de ellas para lograr el voltaje necesario para un coche eléctrico. En cambio, las de Litio-Aire poseen un voltaje similar a las de iones de Litio. A través de un electrolito líquido se lleva a cabo la reacción de oxidación del litio mediante oxígeno en el cátodo. Posee una elevada capacidad, superior a las baterías de iones de litio. Su mayor potencial reside en el hecho de que la densidad energética teórica de estas baterías puede ser superior en hasta 5 veces a las actuales de



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

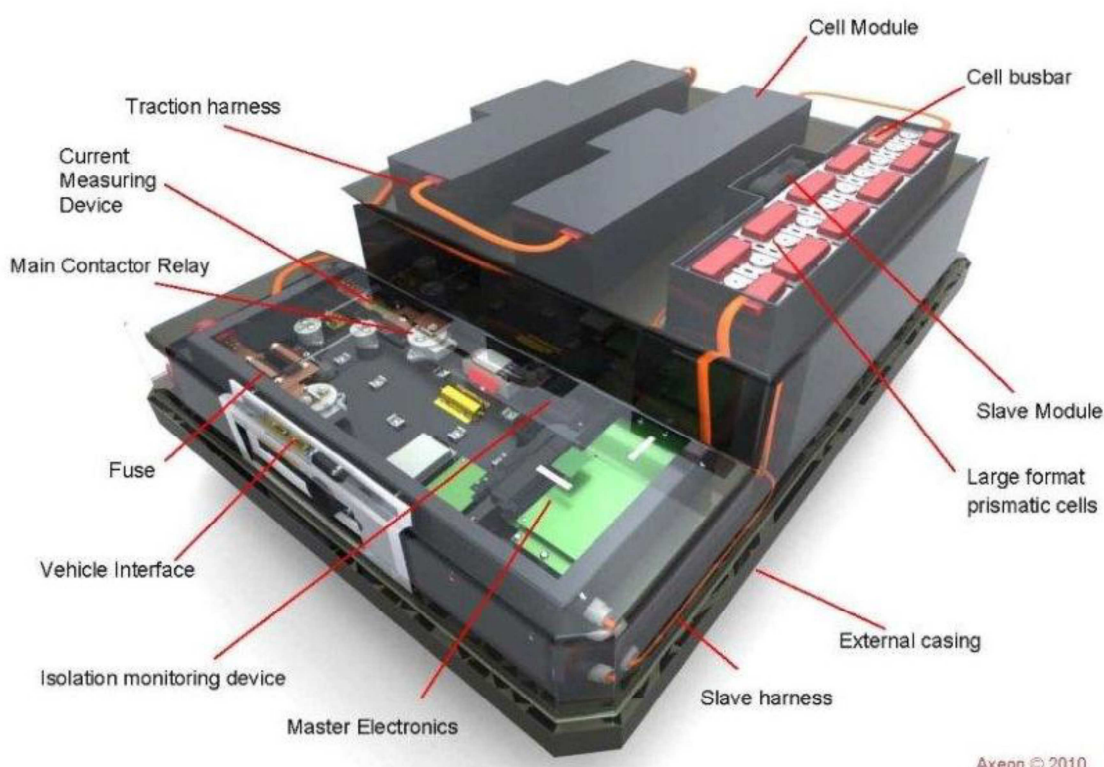
---

iones de Litio. La principal desventaja es la poca estabilidad de la reacción de oxidación mediante aire con electrólito líquido.

- Litio-Azufre: con hasta 8 veces mayor densidad energética que las baterías de iones de Litio. Científicos de la Universidad de Berkeley han conseguido recientemente producir una batería que resiste 1.500 ciclos. Tienen una gran capacidad de descarga y admiten cargas rápidas sin apenas deteriorarse.
- Litio-Silicio-Grafeno: consiguen triplicar la densidad energética de las baterías actuales de iones de Litio con una gran estabilidad tanto en los procesos de carga como de descarga. Experimentales, en inicio de desarrollo.

Aunque muchas veces se habla de la vida de la batería como una función exclusiva del número de ciclos de carga/descarga hay que tener en cuenta también que las baterías de iones de litio pierden capacidad con el tiempo pese a no usarse dado que en su interior se producen reacciones químicas de forma continua aunque no intencionada entre las partículas del ánodo y las del cátodo.

## **4.2.2. Arquitectura y manufactura de las baterías para vehículos eléctricos.**



*Figura 4.3: composición de una batería de iones de Litio de un automóvil eléctrico. Fuente: Axelon.*



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

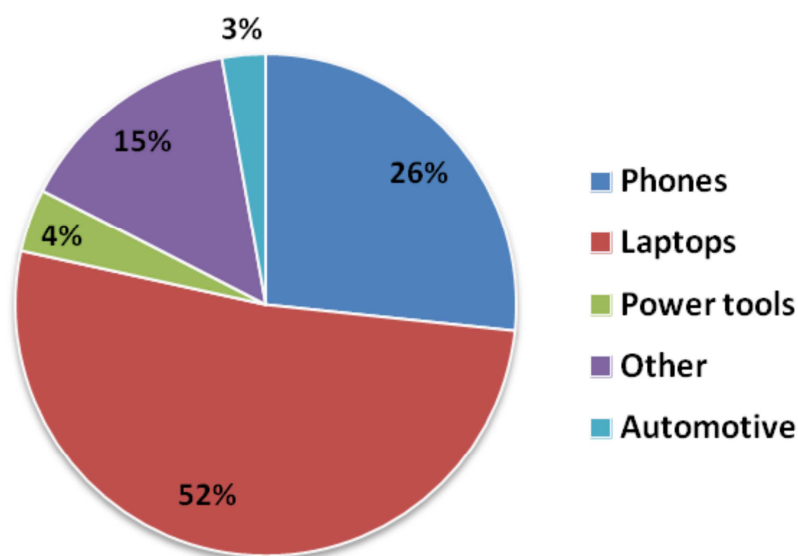
---

Las baterías de iones de Litio para vehículos eléctricos están compuestas de una serie de elementos:

- Celdas de energía: son las celdas que contienen la química antes comentada y las que contienen la energía propiamente dicha. Dependiendo de la química interna tienen diferentes capacidades medidas en amperios/hora (Ah) y voltajes. Suelen oscilar entre 2-3.5Ah en cuanto a capacidad y entre 2 y 4 voltios. Pero la celda de energía es una unidad muy pequeña y suele agruparse en unidades mayores en serie (para obtener mayor capacidad) o en paralelo (para alcanzar mayores diferencias de potencial):
  - Módulos: es la unión de varias células, aisladas entre sí, con conectores y, cuando sea necesario, fluidos refrigerantes.
  - Packs: es la unidad mayor. Cada “pack” está conformado por una serie de módulos. A veces suele denominarse “pack” de baterías al conjunto de elementos encargados del almacenaje de energía de una batería de automóvil de forma autónoma con su propio control electrónico.
- Electrónica de control: circuitos impresos que se encargan de monitorizar los principales parámetros de la batería (voltaje, capacidad restante, temperatura...). Conecta con la electrónica de control del vehículo, determina el uso seguro de la batería.
- Electrónica de potencia: distribuye la corriente y potencia en función de la demanda exterior (vehículo). Controla así mismo los relés y fusibles de seguridad para evitar sobre cargas durante la fase de carga de la batería o intensidades de descarga excesivas en la fase de descarga.
- Cableado: para permitir el transporte de la energía desde los módulos de celdas o packs hasta el vehículo.
- Carcasa de montaje de cada elemento: a nivel celda, modulo y pack, así como la carcasa exterior de la batería. Ha de aportar la forma al conjunto, así como contener toda la electrónica y los sistemas de refrigeración, control y seguridad cuando correspondan, garantizando el funcionamiento de todos ellos y en especial del o los sistemas de seguridad.
- Sistemas de control de temperatura: cuando correspondan, tales como ventiladores, disipadores, etc. Es necesario mantener las baterías en unas condiciones establecidas de temperatura para alargar su vida útil y por seguridad.

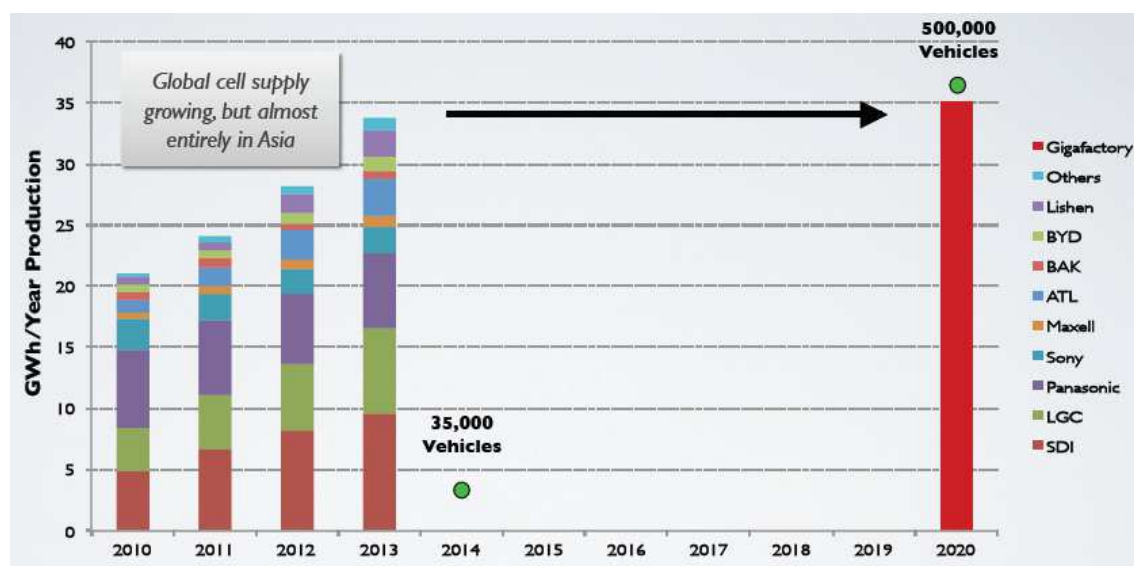
Por todo ello el coste de las celdas de energía por sí mismas es sólo una parte del coste de fabricación de la batería en su conjunto, dado que los procesos de manufactura de la misma aún no han sido automatizados ni lanzados a gran escala. De forma similar a lo que hemos visto con el vehículo en sí mismo, la fabricación de las baterías se lleva a cabo de forma paralela a éste, por lo que los actuales volúmenes de producción no permiten generar economías de escala al nivel de los automóviles térmicos.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



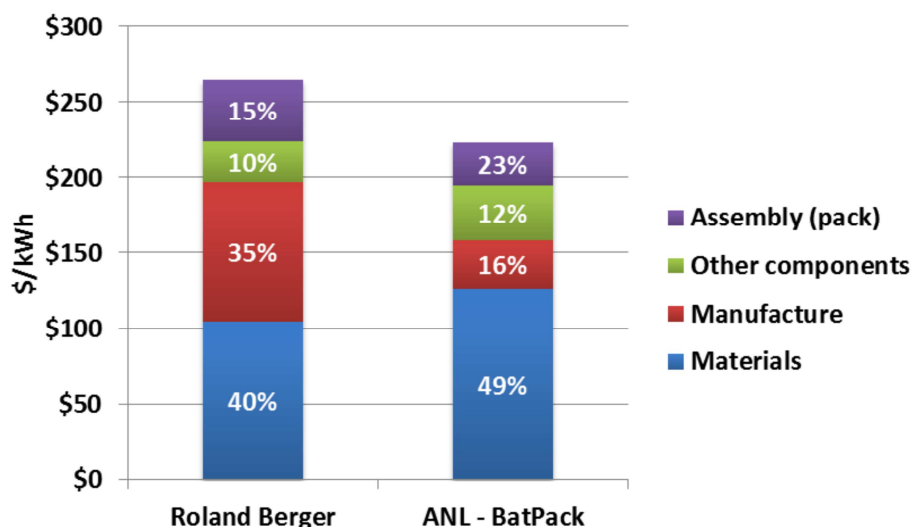
*Figura 4.4: empleo de las baterías de Litio a nivel mundial. La producción destinada a automóviles eléctricos apenas supera el 3%, siendo aproximadamente la mitad destinada a ordenadores portátiles y tabletas.*  
Fuente: Cost and Performance of EV batteries.

Una muestra importante de este hecho es que uno de los fabricantes más comprometidos con el vehículo eléctrico, el norteamericano Tesla, tiene actualmente en construcción una factoría para la fabricación de sus propias baterías con la colaboración de Panasonic y SolarEnergy que cuando alcance la plena producción, alrededor de 2020, supondrá duplicar la producción total de baterías de Litio para el año 2013. También es posible comprobar como la fabricación se ha incrementado en alrededor de un 70% en apenas 4 años, desde 2010 a 2013 y un 350% en una década.



*Figura 4.5: estimación de producción de la factoría para baterías de Tesla para el año 2020.* Fuente: Tesla Motors.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.



*Figura 4.6: estimación de los diferentes costes que concurren en la fabricación de una batería para automóvil eléctrico. Fuente: Cost and Performance of EV batteries.*

Algunas estimaciones valoran el coste de los materiales entre el 40 y el 50% mientras el resto corresponde a otros componentes antes citados de la batería, su fabricación y el ensamblaje final del conjunto.

### **4.2.3. El precio de la batería.**

Conocer el coste en que incurren actualmente los fabricantes de baterías es imposible, al menos de forma exacta, dado que es una parte fundamental del negocio del vehículo eléctrico y ningún fabricante facilita el precio real de oferta de sus baterías al mercado. No obstante, a través de algunas entrevistas concedidas por los directores de los principales fabricantes, así como sus suministradores o los precios a los que venden el conjunto automóvil + batería podemos hacer una aproximación del precio que supone la batería por sí sola para el usuario.

#### **4.2.3.1. Nissan.**

El caso de Nissan es particularmente importante pues se considera un éxito dado que se han fabricado ya más de 100.000 unidades de su único vehículo eléctrico, el Nissan Leaf, y se trata del vehículo eléctrico más vendido en la historia. La batería del Nissan Leaf es producida por NEC en Japón.

Según el ciclo NEDC, la autonomía del vehículo con esta batería es de 200km, aunque al igual que ocurre con el consumo en los vehículos térmicos esta depende en gran medida de las

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

condiciones que rodean a la conducción, así, en las condiciones ideales de temperatura, sin usar el aire acondicionado o el sistema de calefacción ( mediante bomba de calor al no haber motor térmico que pueda suministrar calor) y realizando una conducción mayoritariamente urbana a bajas velocidades puede alcanzar hasta 233 kilómetros de autonomía. Por otro lado, en condiciones desfavorables, con pronunciadas pendientes, velocidades en autopista elevadas y temperaturas elevadas o frías la autonomía puede descender hasta los 135 km.

Las principales características técnicas de la batería del Nissan Leaf son.

- Batería de iones de litio-manganeso.
- 24 kWh de capacidad total.
- 48 módulos.
- 192 celdas.
- Una densidad energética de 157 kWh/kg.
- Refrigeración por aire forzado.

Por otro lado, la oferta económica de Nissan es la siguiente:

- Si las baterías van incluidas estas tienen una garantía de 5 años o 100.000 kilómetros, tomando como referencia una capacidad mínima de carga del 75% respecto del total.
- Si se opta por el alquiler de baterías con los precios variables, las baterías están garantizadas de por vida, sin límite de tiempo o kilometraje. De nuevo, tomando como referencia mínima una capacidad de carga del 75%.

Para estimar el precio que el consumidor paga a Nissan por la batería podemos hacer una primera aproximación dado que Nissan ofrece la modalidad o bien de compra del vehículo con batería incluida o bien sin ella, pagando un alquiler por usarla. En el primer caso y en España el precio del conjunto es de 29.900 €, donde el precio incluye el Precio Franco de Fábrica, el IVA (no existe impuesto de matriculación para vehículos eléctricos), el transporte y el servicio de asistencia Nissan para vehículos eléctricos. En caso de optar por la opción de alquiler de baterías el precio del vehículo es de 24.000 € en las mismas condiciones, por lo que podemos deducir que el precio que Nissan le factura al consumidor en concepto de la batería es de **5.900 €** por lo que el precio del kWh en este caso es de **246 €**.



*Figura 4.7: batería completa del modelo Nissan Leaf. Fuente: Nissan.*

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## 4.2.3.2. Renault.

A pesar de la alianza que mantiene con Nissan, Renault desarrolló sus vehículos eléctricos por separado y en algunos casos con anterioridad. Renault cuenta en su gama con el Twizy, un cuadriciclo ligero, el Fluence ZE, derivado del Renault Fluence térmico, el Kangoo ZE, vehículo comercial ligero derivado del Kangoo térmico y finalmente el que sería su primer vehículo concebido como eléctrico desde el principio: el Renault ZOE. A pesar de las similitudes entre el modelo ZOE y el Leaf no comparten prácticamente ningún componente, aunque dada la alianza que mantienen ambos fabricantes se espera que para las segundas generaciones del Leaf (esperada para 2016) y del ZOE o el sustituto del Fluence ZE desarrollen conjuntamente la mayor parte de dichos componentes, baterías incluidas.

Por ello tomaremos al Renault ZOE como base para nuestra estimación de precio de la batería, aunque en el caso de Renault todavía no vende el vehículo con las baterías incluidas, únicamente existe la opción de alquiler (únicamente se da este caso en Noruega, pero está en estudio su aplicación a toda Europa). Con dicha batería de 22 kWh fabricada en Corea por LGChem el Renault ZOE homologa según el ciclo NEDC una autonomía de 210 km, aunque igual que en el caso del Leaf esta autonomía depende fuertemente de las condiciones de conducción, pudiendo variar así entre los 230 y los 150 km aproximadamente. A diferencia del Nissan Leaf, que comenzó su andadura en el año 2010 el Renault ZOE lo hizo a mediados de 2013 y su andadura comercial no ha sido todo lo exitosa que se esperaba (<10.000 unidades en 2013 y se esperan menos de 23.000 en 2014), aunque hay que tener presente que lleva apenas un año y medio en el mercado y no llega a mercados como los Estados Unidos o Japón, cosa que si hace el Leaf.

Las principales características técnicas de la batería de Renault son:

- Batería de iones de LitioFePO<sub>4</sub>.
- 22 kWh de capacidad total.
- 12 módulos.
- 192 celdas.

En España el Renault Zoe no se vende con las baterías, sino que sólo existe la opción de alquilar las mismas, pero por contra en Noruega existen las dos opciones y sin ningún tipo de ayuda a la compra de forma directa, pero añade una exención de impuestos (IVA en el caso de España), de forma que podemos obtener la diferencia en Noruega y hacer el cambio a Euros. Renault garantiza el 75% de carga de sus baterías por 5 años o 100.000 kilómetros, de la misma forma que Nissan.

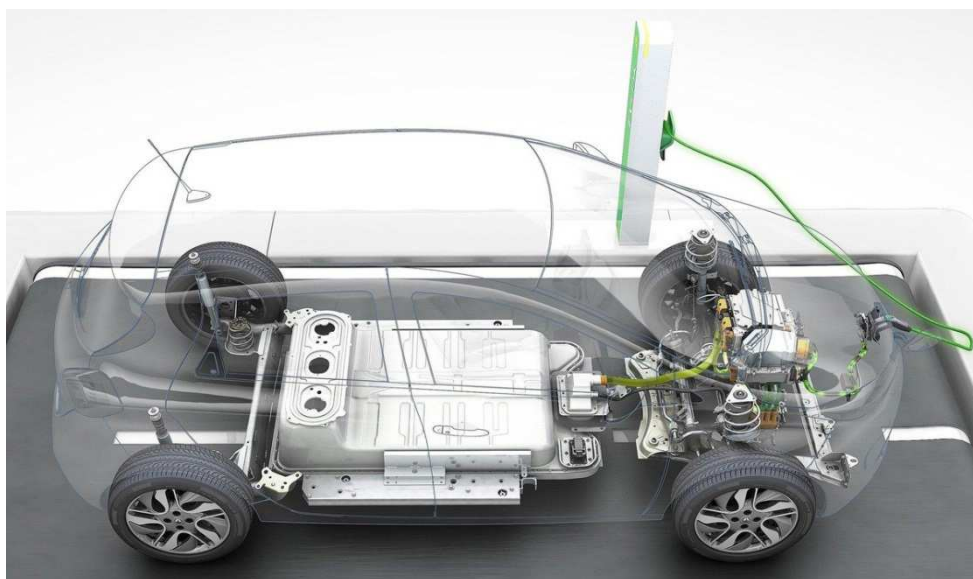
- El precio del Renault ZOE en Noruega con baterías en propiedad es de 191.980 Coronas, que al cambio son 23.200 € (Marzo 2014). Hay que hacer notar que en el precio va incluida la instalación de un cargador de pared de 3.6 kW (en España esta opción se valora aproximadamente alrededor de 1.000 € en función del instalador). Si a estos 22.200 € restantes le añadimos el IVA que sí paga en España y le restamos las ayudas el precio final que queda es de 21.362 €.

- Por contra, la opción con alquiler de baterías supone un precio en España de 15.750 €, IVA y ayudas incluidos.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- La diferencia de precio es entonces de **5.612 €**. El precio del kWh es, teniendo en cuenta la capacidad de 22kWh, de **255 €**.



*Figura 4.8: esquema de Renault ZOE donde se muestran los componentes electrónicos así como las baterías.*  
**Fuente: Renault.**

### 4.2.3.3. Tesla Motors.

El caso Tesla es un poco diferente de los anteriores dado que apenas acaba de llegar al mercado europeo y no está disponible en todos los países (en España por ejemplo no existe aún concesionario de la marca) y no contempla bajo ningún caso la opción de alquiler de baterías, únicamente la venta del conjunto vehículo + batería. No obstante, el CTO (Chief Technical Officer) de Tesla Jeffrey Straubel, anunció que el coste de la batería en su Model S supone menos de un tercio de su precio final y que en los casos con los vehículos más equipados supone menos incluso de un cuarto. Tomando el dato oficial de 63.570 \$, el precio del Model S y dividiéndolo entre 3 en el peor de los casos, el coste en euros una vez sustituimos los impuestos en Estados Unidos (8.5% en California, sede de la compañía) por los impuestos en España (IVA 21%) al cambio sería de **17.062 €**, lo que nos deja un coste por kWh de **284 €**. Si por el contra utilizamos el precio del ModelS tope de gama con batería de 85kWh y siguiendo los mismos cálculos, el precio por kWh baja hasta los **208 €**. Tesla garantiza la capacidad de sus baterías hasta 8 años y 125.000 millas (200.000 km aproximadamente) u 8 años con kilometraje ilimitado si se trata de los vehículos de mayor precio.

El modelo de fabricación de la batería de Tesla es particular dado que no han diseñado los módulos de forma específica para su batería, si no que han cogido celdas estandarizadas de Panasonic, su socio para las baterías, del tipo 18650 (LiFePO<sub>4</sub>) y las han unido dentro de un encapsulado diseñado por ellos formando 18 módulos y totalizando 7104 celdas, lo que permite darle



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

una forma plana e incorporarlo al vehículo de forma horizontal debajo del piso, consiguiendo unas buenas características de espacio y habitabilidad en su vehículo a la par que han reducido el coste de manufactura sensiblemente.

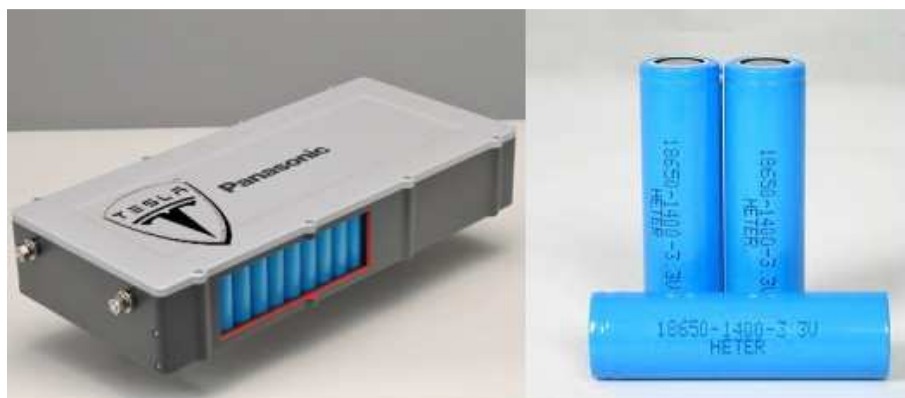


Figura 4.9: celda estándar 18650 (derecha) y módulo Tesla (izquierda).

### 4.2.3.4. Cuadro resumen.

		Nissan Leaf	Renault ZOE	Tesla Model S
Masas y dimensiones	Longitud(mm)	4445	4084	4976
	Ancho(mm)	1770	1730	1963
	Alto(mm)	1550	1568	1435
	Batalla (mm)	2700	2588	2959
	Peso(kg)	1474	1428	2108
Propulsión	Tipo	AC síncrono	AC síncrono	AC síncrono
	Potencia(kW/CV)	80/107	65/88	270/362
	Par motor(Nm)	254	220	440
	Tipo batería	Ión-Litio	Ión-Litio	Ión-Litio
	Capacidad(kWh)	24	22	85
	Consumo ZE(Wh/km)	120	105	169
	Autonomía (km)NEDC	199	210	500
Prestaciones	Velocidad máxima(km/h)	144	135	200
	Aceleración 0-100	11,5	13,5	5,6

Tabla 4.8: características técnicas de los principales vehículos eléctricos en el mercado occidental. Fuente: elaboración propia.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Hemos estimado el consumo en kWh/100km en función de la autonomía homologada. En algunos casos como en el de el Renault ZOE el fabricante del vehículo aporta otro dato más cercano al consumo real: 14.6 kWh/100km y no los 105 kWh/100 km estimados mediante la cifra de autonomía homologada.

## **4.3. Estimación del coste de uso del vehículo eléctrico. Comparación con vehículos térmicos similares.**

Para realizar la comparativa hemos seleccionado el Renault ZOE y el Renault Clío, dado que se trata de dos vehículos de la misma marca de dimensiones similares y por tanto pertenecientes ambos al mismo segmento. Algunos de los parámetros adoptados para la realización de la comparación los hemos supuesto en anteriores apartados o vienen indicados de expresa forma por el fabricante.

Así:

- Vamos a adoptar los consumos homologados según el ciclo NEDC para el Renault Clío. En el ZOE vamos a adoptar como una única cifra de consumo ponderada los 14.6 kWh/100 kilómetros expresados como consumo medio, dado que se desvía menos de los consumos reales.
- Vamos a estimar el ciclo de vida en 7 años dado que es un tiempo razonable para la vida de la batería. (Nissan y Renault las garantizan por 5 años en Europa. Tesla la garantiza por 8 años y 160.000 km).
- El kilometraje recorrido será de 180.000 kilómetros, de esta forma hacemos coincidir los intervalos de servicio de ambos modelos (en el caso del Clío en sus versiones tanto gasolina como gasóleo).
- Hemos escogido los niveles de equipamiento más básicos en ambos modelos. Aunque el equipamiento difiere ligeramente de uno a otro, para la comparativa nos vamos a centrar en los aspectos energéticos. Este punto juega ligeramente en contra del vehículo eléctrico puesto que aumenta el peso relativo del precio de la batería respecto al total.
- Todos los precios e impuestos han sido calculados conforme a la normativa vigente y según el precio propuesto por el fabricante. Los descuentos especiales (en el caso del ZOE por ser eléctrico) están incluidos, los descuentos coyunturales aplicables a los tres han sido desestimados (el Plan PIVE).
- Hemos seleccionado dos posibles escenarios para el uso de la batería, uno mediante alquiler y otro con el coste de compra estimado para el mercado español. En el primer caso la batería está cubierta por la garantía incluida dentro de la cuota de alquiler. En el caso de adquisición de la batería, asumimos que esta será sustituida cuando alcance los 5 años o 100.000 kilómetros por una nueva, por lo que al coste de la inicial añadiremos el coste de la parte proporcional de la nueva batería.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## **4.3.1. Características técnicas.**

		Renault Clío 1,2 Authentique	Renault Clío (1,5dCi)Authentique	Renault Zoe Life
Masas y dimensiones	Longitud(mm)	4062	4062	4048
	Ancho(mm)	1732	1732	1730
	Alto(mm)	1448	1448	1568
	Peso(kg)	1055	1146	1428
Propulsión	Tipo	Del. Transversal 4 cil.	Del. Transversal 4 cil.	Delantero transversal
	Combustible	Gasolina	Gasóleo	Electricidad
	Cilindrada(cm^3)	1149	1461	n.a.
	Potencia(kW/CV)	55/75	55/75	65/88
	Par motor(Nm)	107	200	220
	Tipo batería	n.a.	n.a.	Ión-Litio
	Capacidad(kWh)	n.a.	n.a.	22
Consumos y emisiones	C. Urbano(l/100km)	7	4,3	n.a.
	C. Extraurbano(l/100km)	4,7	3,2	n.a.
	C. Mixto(l/100km)	5,5	3,6	n.a.
	Emisiones CO2(g/km)	127	95	0
	Consumo ZE(Wh/km)	n.a.	n.a.	146
Prestaciones	Velocidad máxima(km/h)	167	168	135
	Aceleración 0-100	15,4	14,3	13,5

*Tabla 4.9: principales características técnicas de los modelos en estudio.*

En la tabla anterior podemos observar que ambos vehículos son muy similares en cuanto a dimensiones y entrarían dentro del mismo segmento de mercado, cosa que no era posible realizar con cualquiera de los dos otros vehículos eléctricos comentados, dado que o bien las propias marcas no fabrican vehículos térmicos similares o bien el fabricante no ha querido facilitar ningún dato útil.

Podemos observar que los vehículos difieren fuertemente en cuanto a la masa, siendo el ZOE 373kg más pesado que la versión gasolina del Clío y es debido al peso extra que aportan las baterías. La aceleración de los tres es similar aunque la velocidad en el Renault ZOE está limitada electrónicamente según el límite de revoluciones del motor dado que no dispone de cambio de marchas.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

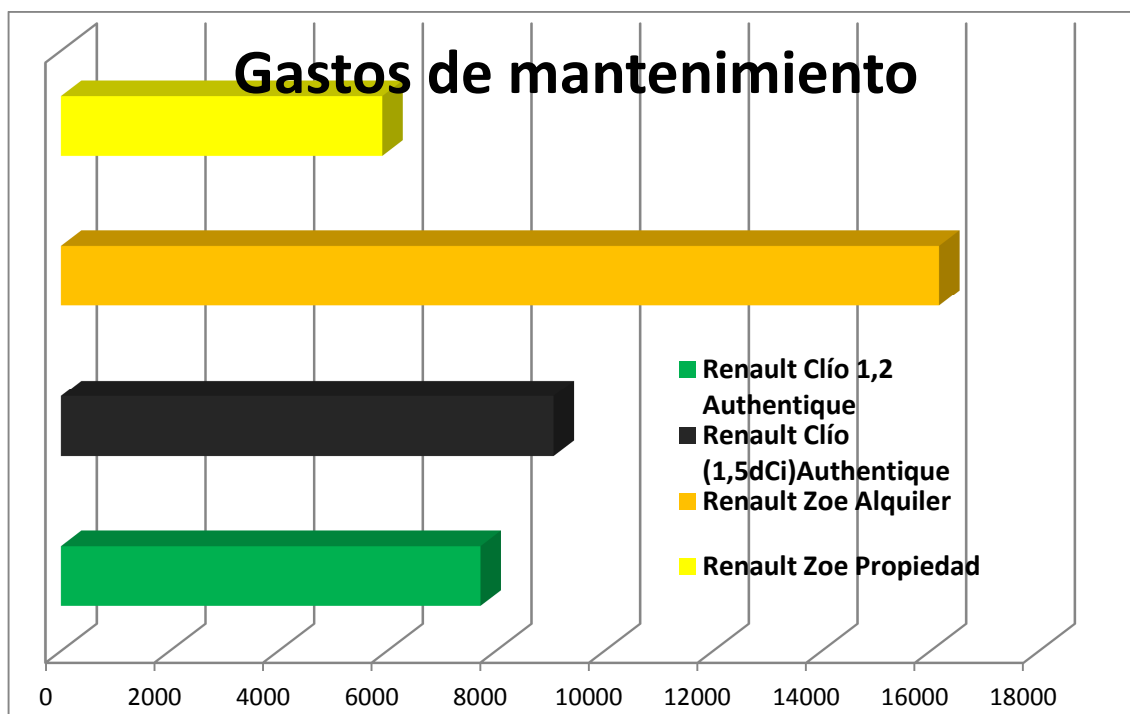
## 4.3.2. Estimación de gastos de mantenimiento.

	Renault Clío 1,2 Authentique	Renault Clío (1,5dCi) Authentique	Renault Zoe Alquiler	Renault Zoe Propiedad	
<b>Revisiones</b>					(Sólo Zoe)
Revisión 30,000 km	314,18	442,76			
Revisión 60,000 km	332,67	443,73	62,46	62,46	Revisión 60,000 km
Revisión 90,000 km	273,67	383,53			
Revisión 120,000 km	757,8	971,15	305,27	305,27	Revisión 120,000 km
Revision 150,000 km	410,4	570,84			
Revisión 180,000 km	357,35	468,42	62,46	62,46	Revisión 180,000 km
<b>Subtotal</b>	<b>2446,07</b>	<b>3280,43</b>	<b>430,19</b>	<b>430,19</b>	
<b>Consumibles</b>					
Aceite	Incluído en revisiones	Incluído en revisiones	n.a.	n.a.	
Neumáticos Michelin Energy Saver 185/55R15-88T	342,36	342,36	342,36	342,36	En el caso del ZOE los neumáticos son Michelin Energy 185/65R15 88Q
6 cambios(Cada 35,000 km)	2054,16	2054,16	2054,16	2054,16	
<b>Subtotal</b>	<b>2054,16</b>	<b>2054,16</b>	<b>2054,16</b>	<b>2054,16</b>	
<b>Seguros</b>					
Suponemos varón, 45 años y más de 20 de carnet. Estacionamiento en garage y seguro a todo riesgo	375,25	442,5	412,35	412,35	
7 años	2626,75	3097,5	2886,45	2886,45	
<b>Subtotal</b>	<b>2626,75</b>	<b>3097,5</b>	<b>2886,45</b>	<b>2886,45</b>	
<b>Impuestos</b>					
Calculados en la ciudad de Zaragoza en las mismas condiciones					Los eléctricos tienen bonificación del 60% ilimitada en el tiempo
I.V.T.M.	62,3	62,3	137,3	137,3	
			54,92	54,92	Con bonificación

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

7 años	436,1	436,1	384,44	384,44	
<b>Subtotal</b>	<b>436,1</b>	<b>436,1</b>	<b>384,44</b>	<b>384,44</b>	
<b>Inspección técnica de vehículos</b>					
	39,71	49,58	39,71	39,71	
7 años (4 veces)	158,84	198,32	158,84	158,84	
<b>Subtotal</b>	<b>158,84</b>	<b>198,32</b>	<b>158,84</b>	<b>158,84</b>	
<b>Alquiler de batería</b>					
84 meses x 122€/mes			10248		
<b>Subtotal</b>			<b>10248</b>		
<b>Total</b>	<b>7721,92</b>	<b>9066,51</b>	<b>16162,08</b>	<b>5914,08</b>	

*Tabla 4.10: comparativa de los costes de mantenimiento de los vehículos en estudio, en euros durante los siete años del ciclo de vida estimado.*



*Figura 4.10: gráfico comparativo de los costes de mantenimiento de los tres vehículos en estudio durante los 7 años del ciclo de vida estimado.*

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Los costes de mantenimiento han sido calculados en base a los requerimientos expresados por el fabricante en cuanto a intervalos de servicio, así como los precios actuales (Enero 2014) ofrecidos por este en concesionarios de la marca. Los seguros han sido obtenidos mediante consulta de comparadores por internet para un conductor con las mismas características. Se ha decidido incluir el alquiler de la batería en los gastos de mantenimiento para separarlos de los costes de adquisición y hacer una diferenciación entre ambas opciones.

Es de tener en cuenta que en los gastos de mantenimiento no hemos añadido los posibles gastos derivados de las averías, dado que resulta imposible hacer una estimación de estos, pues cada caso es único y depende de diversos factores. En cualquier modo, es más razonable esperar mayores gastos en mantenimiento de averías en el modelo térmico que en el eléctrico, dado el mayor número de componentes, especialmente partes móviles.

### 4.3.3. Estimación costes operativos.

	Renault Clío 1,2 Authentique	Renault Clío (1,5dCi)Authentique	Renault Zoe Life	
Consumo urbano(l/100)	7	4,3	n.a.	kWh/100km
Consumo extraurbano(l/100)	4,7	3,2	n.a.	
Consumo combinado 60/40(l/100 o kWh/100)	6,08	4,24	14,7	Total para 180,000 km
Precio Gasolina(95)	1,45	n.a.	n.a.	
Precio Gasóleo(A)	n.a.	1,35	n.a.	
Precio medio kWh	n.a.	n.a.	0,1995	
Total	15.868,80 €	10.303,20 €	5.278,77 €	

Tabla 4.11: estimación de los costes totales de operación de los tres modelos, en euros durante los siete años del ciclo de vida estimado.

Para la estimación de los gastos de operación, fundamentalmente el consumo de energía bien sea en forma de combustible fósil o eléctrica, se ha tomado en cuenta lo siguiente:

- En el caso de los vehículos térmicos: se han tomado como valor de consumo los consumos homologados tanto en ciclo urbano como extraurbano, combinándolos en un 60% de uso urbano y un 40% de uso extraurbano. Dada la gran desviación del modelo diésel se ha multiplicado la cifra homologada por 1.1 para acercarlo a las desviaciones de los otros dos modelos

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- En el caso del vehículo eléctrico no se ha tomado su autonomía homologada sino el consumo medio estimado por el fabricante, aproximadamente un 35% mayor y más próximo a valores reales.
- Las desviaciones inferiores de los consumos así obtenidos en comparación con los reales<sup>18</sup> es, aproximadamente:
  - 24% de desviación en el caso del diésel. (14% después de corrección).
  - 9% de desviación en el caso del gasolina.
  - 15.2% de desviación en el caso del eléctrico.
- Se ha preferido realizar así el cálculo por ser consumos homologados con carácter oficial habiendo sido obtenidos en circuito cerrado bajo la misma normativa. En el caso del eléctrico las particularidades de este hacen que la autonomía homologada difiera en mayor medida frente a la real, de ahí que Renault haya preferido dar un valor mayor pero más preciso y cercano a la realidad.
- El precio medio del kWh se ha obtenido, suponiendo su carga en una vivienda particular, en función del precio medio pagado en su factura por una familia media (4 miembros) una vez incluidos los kWh consumidos mensualmente por el vehículo.

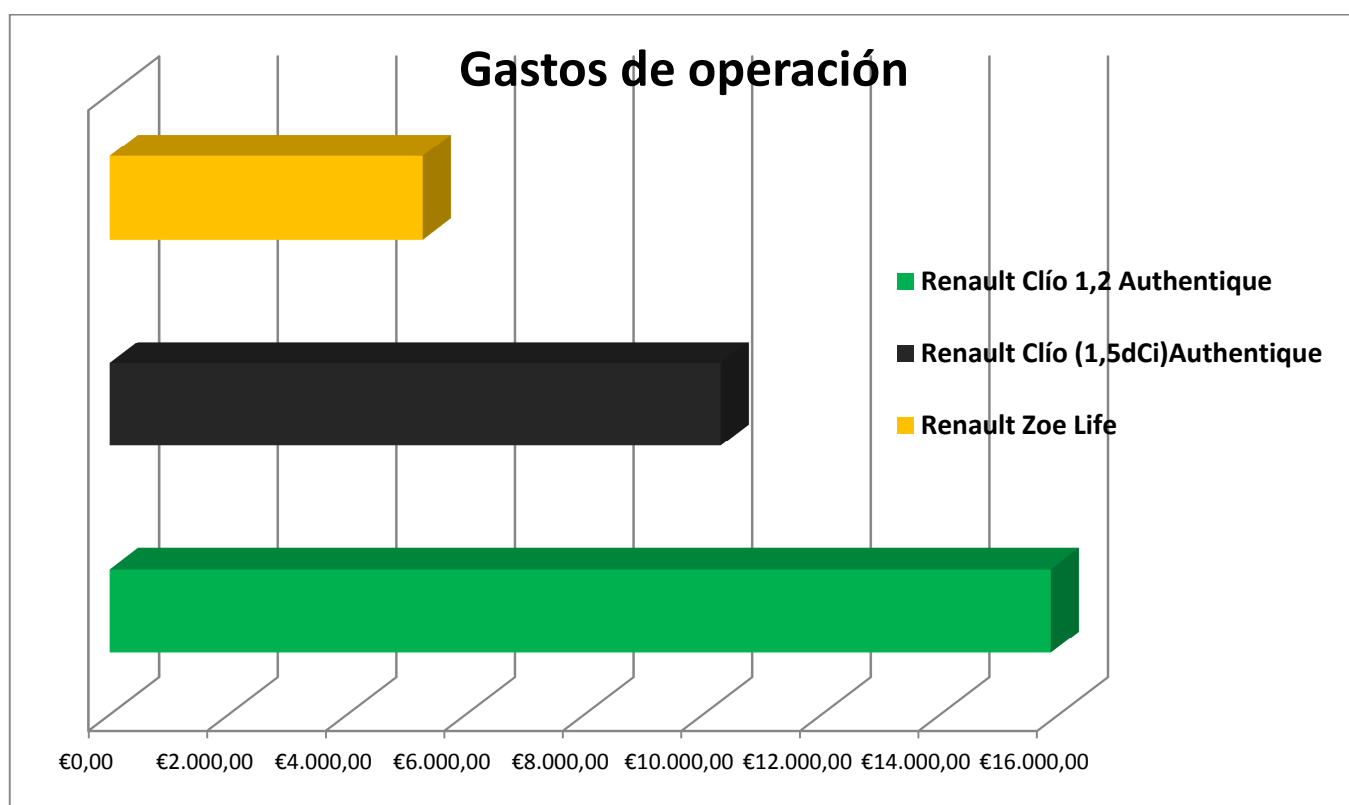


Figura 4.11: estimación de los gastos de operación, en euros durante los siete años del ciclo de vida estimado.

<sup>18</sup> Spritmonitor.de

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## **4.3.4. Estimación coste de adquisición.**

	Renault Clío 1.2 Authentique	Renault Clío 1.5dCi Authentique	Renault Zoe Life (propiedad)	Renault Zoe Life (alquiler)
Base Imponible(PFF+transporte)	10376,03	11735,54	17561,98	17561,98
Impuesto de matriculación	492,86	0,00	0,00	0,00
I.V.A. (21%)	2178,97	2464,46	3688,02	3688,02
Precio final sin promociones	13047,86	14200,00	21250,00	21250,00
Ayudas estatales	n.a.	n.a.	-5500	-5500
Precio batería en propiedad (5 años)	n.a.	n.a.	10.101 €	n.a.
Precio final completo	13.047,86 €	14.200 €	25.851 €	15.750 €

Tabla 4.12: estimación de los costes de adquisición de cada uno de lo vehículos, en euros.

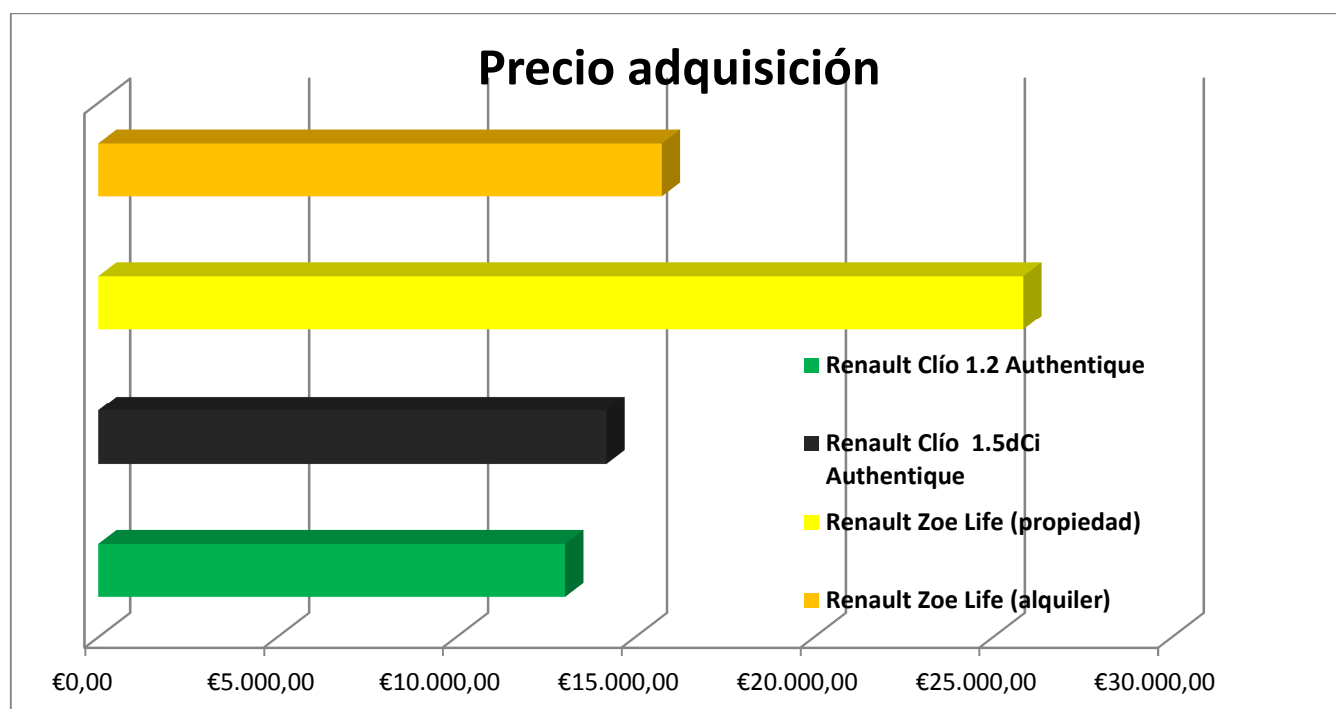


Figura 4.12: estimación del precio de adquisición de los diferentes vehículos en estudio, en euros.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Para la estimación de los costes de adquisición se han utilizado los precios recomendados por el fabricante incluido el transporte, junto con el IVA y el impuesto de matriculación cuando corresponda. Se han añadido además las ayudas a la compra del vehículo eléctrico, al no ser ayudas aplicables a todos los modelos. No se han tenido en cuenta otras posibles ayudas regionales al vehículo eléctrico o estatales coyunturales que afecten a todos los modelos (plan PIVE).

Como se puede observar, el hecho de adquirir las baterías junto con el vehículo eléctrico implica un desembolso que casi duplica a sus homólogos térmicos, el principal motivo por el cual surgió la idea del alquiler de las baterías, que si bien no elimina la necesidad de pagar por ellas (incluso más), permite realizar el pago de forma progresiva a lo largo del período de alquiler, de esta forma, el precio del vehículo se equipara aproximadamente al de sus homólogos térmicos.

## 4.3.5. Estimación total de gastos de la alternativa eléctrica.

	Renault Clío 1.2 Authentique	Renault Clío 1.5dCi Authentique	Renault Zoe Life (propiedad)	Renault Zoe Life (alquiler)
Costes adquisición	13047,86	14200	25851	15750
Costes de mantenimiento	7721,92	9066,51	5914,08	16162,08
Costes de operación	15868,80	10303,20	5278,77	5278,77
Coste final	36638,58	33569,71	37043,85	37190,85

Tabla 4.13: cuadro resumen del resultado del estudio comparativo entre los modelos.

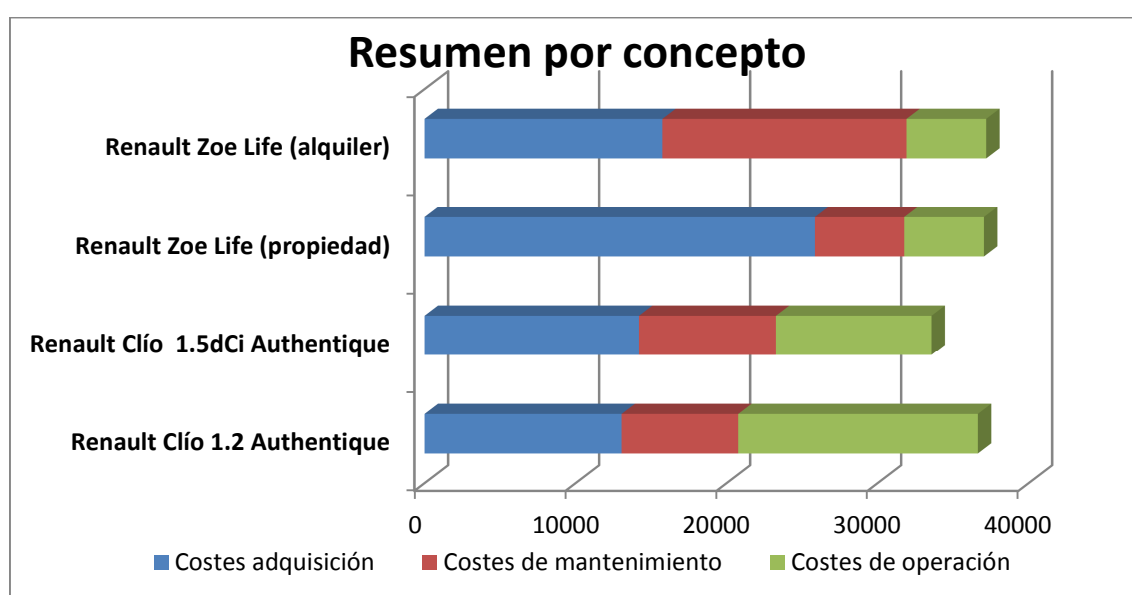


Figura 4.13: resumen por concepto y modelo de vehículo.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

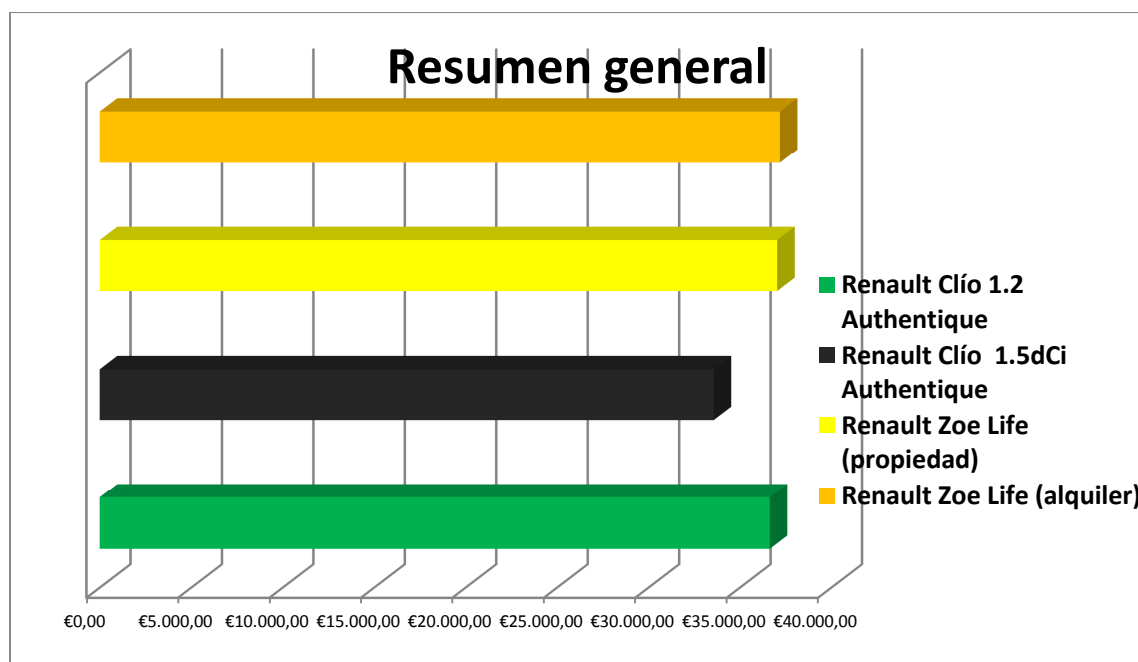


Figura 4.14: resumen del estudio comparativo, en siete años y 180.000 kilómetros.

A la vista de los anteriores gráficos podemos observar que los gastos derivados de la adquisición, mantenimiento y operación de los vehículos comparados son muy similares en el tiempo y el kilometraje establecido, con excepción hecha del vehículo diésel. Así, en la peor situación contemplada, el vehículo eléctrico con las baterías en régimen de alquiler es tan sólo un 1.5% más caro que la versión gasolina. Por su parte, si optamos por la adquisición de las baterías, el precio es superior a la versión gasolina en un 1.1%. Por otro lado, la opción diésel es sensiblemente más económica a largo plazo como se muestra en este estudio, así, los vehículos eléctricos con baterías en alquiler y con baterías en propiedad son, respectivamente un 10.7 y un 10.3% más costosos a lo largo de su ciclo de vida.

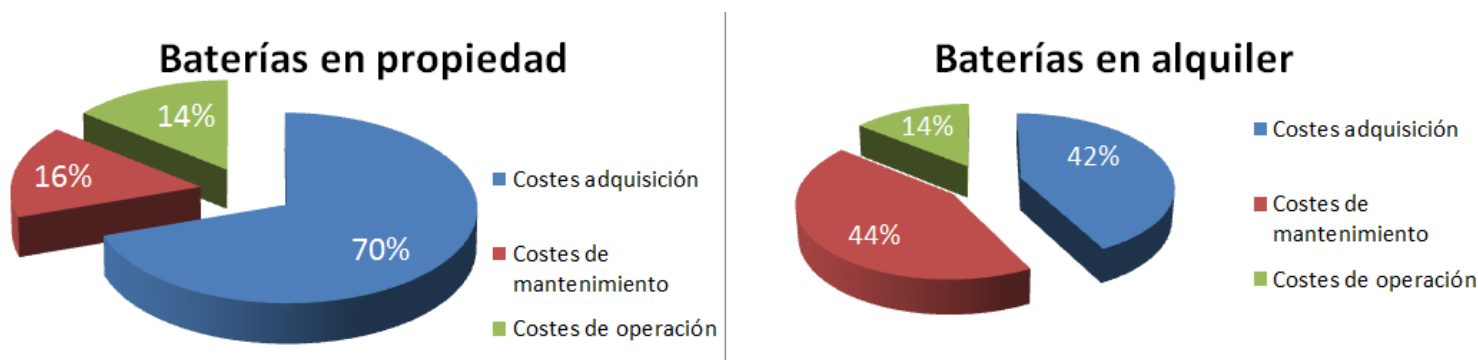
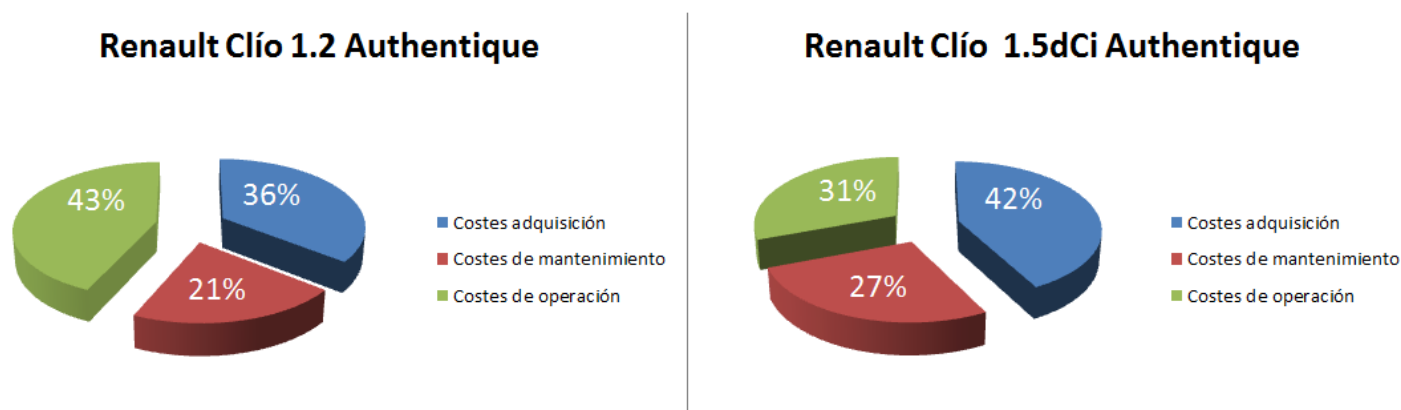


Figura 4.14: comparación de los diferentes conceptos en los que se divide el coste total del vehículo eléctrico en función de si las baterías van incluidas o en alquiler.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

En el gráfico anterior podemos confirmar lo ya anotado anteriormente, cómo en el caso de adquirir las baterías en propiedad junto con el vehículo, esto supone un desembolso de aproximadamente el 70% del coste total a lo largo de la vida del vehículo, mientras el alquiler no reduce el gasto total que prácticamente se mantiene constante, pero reduce el desembolso inicial al 42% del total del coste a lo largo de la vida útil del vehículo. Igualmente podemos observar que los costes relacionados con la operación, el coste de la energía, supone en ambos casos un 14%, bastante inferior a sus homólogos térmicos, particularmente en el caso del gasolina.

Por tanto, en lo que a vehículos eléctricos se refiere, el coste que evidencian el propio vehículo y particularmente las baterías son dos factores determinantes a la hora de la adquisición del vehículo, pues suponen entre ambos alrededor del 70% (independientemente de cómo se distribuyan dichos costes) del coste del vehículo a lo largo de su vida útil, siendo este así mismo inferiormente dependiente del precio de la energía.



*Figura 4.15: comparación de los diferentes conceptos en los que se divide el coste total del vehículo a lo largo del ciclo de vida estimado (gasolina y diésel).*

Observando el gráfico anterior vemos que en el caso de los vehículos térmicos, a diferencia de las opciones eléctricas, el coste de cada uno de los conceptos está repartido de forma más uniforme, aunque en el caso del vehículo de gasolina los gastos de operación son los más elevados de todos proporcionalmente, mientras el diésel se sitúa en una posición intermedia en este concepto. Por otro lado, el coste de adquisición del vehículo de gasolina es el más económico de todos mientras el diésel proporcionalmente se encuentra en el mismo caso que el vehículo eléctrico con las baterías en propiedad.

En ambos casos, los vehículos térmicos son más sensibles en sus costes a la variación del precio de los combustibles, dado que en el caso del vehículo diésel representan más del doble de la proporción de gasto frente al eléctrico, mientras en el caso del gasolina representa alrededor del triple. Una variación del precio del petróleo afectará en mayor medida a las opciones térmicas que a la eléctrica.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **4.4. Conclusiones.**

A la vista de los datos representados en el capítulo hemos podido obtener una serie de conclusiones relativas a los costes y gastos generados por el uso de la alternativa eléctrica frente a sus homólogos térmicos, así:

- La tecnología de movilidad eléctrica es una tecnología madura desde el punto de vista técnico y tecnológico, pues las prestaciones, capacidad de marcha y confort que es posible alcanzar con el vehículo eléctrico no difieren de las mismas en los vehículos térmicos.
- Por el contrario, no se trata de una alternativa económica madura, pues su fabricación en cortas series, hasta hace menos de una década de forma casi artesanal, no han permitido alcanzar unas cotas en cuanto a precios y costes que permitan su comercialización competitivamente en el mercado del automóvil.
- En términos de fabricación, el automóvil eléctrico no supone prácticamente ningún concepto nuevo que no se venga usando en la fabricación de vehículos térmicos, no supone un salto o una ruptura con las técnicas o tecnologías actuales.
- Los costes derivados de la fabricación tanto del vehículo eléctrico como de la batería suponen todavía el principal escollo para la implantación del vehículo eléctrico desde el punto de vista económico, dado que suponen la mayor parte de los costes del vehículo a lo largo del ciclo de vida útil del mismo.
- Al ser su demanda relativamente baja y su producción limitada (ningún vehículo eléctrico supone más de 35.000 unidades anuales) por este motivo, no se han alcanzado economías de escala ni en la fabricación del propio vehículo ni en las baterías, al menos no en los términos en que se mueven actualmente los vehículos térmicos.
- No es descabellado suponer reducciones en el precio de los vehículos en hasta un 25% dependiendo del modelo como consecuencia de la adopción de grandes series de fabricación, resultando en un precio de venta similar al de vehículos térmicos de similares características.
- La fabricación global de baterías de Litio para vehículos eléctricos ha aumentado un 70% en los últimos 4 años.
- Las reducciones de costes en las baterías han experimentado en los últimos 4 años caídas de hasta un 50%, fruto del avance en materiales así como en técnicas de fabricación. Hace unos 6-7 años la fabricación de baterías para vehículos eléctricos era prácticamente artesanal dada la práctica inexistencia de estos.
- Nuevos avances en la estandarización de componentes de las baterías pueden llevar a nuevas reducciones en sus costos de fabricación. Recordemos que en el caso de Nissan y Renault sus baterías se ensamblan a partir de módulos específicos diseñados para ellas, mientras en el caso de Tesla sus módulos se conforman a partir de un modelo de celda estandarizado fabricado por Panasonic.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Aunque el descenso del precio de las baterías ha sido importante en el último lustro, no se esperan espectaculares reducciones en los próximos años salvo cambios tecnológicos en el área de materiales que lleven a la adopción de materiales más barato. Para finales de la década la producción podría doblarse o triplicarse frente a la actual, pudiendo en este caso significar ello importantes reducciones de precio.
- Los costes de operación y mantenimiento son sensiblemente inferiores a los de sus homólogos térmicos.
- Los costes de adquisición suponen una barrera importante a día de hoy a pesar de las ayudas gubernamentales en la compra de un vehículo eléctrico, suponiendo hasta un 70% del coste total a lo largo de la vida útil del vehículo.
- La alternativa del alquiler de baterías en lugar de su adquisición no reduce el coste global del vehículo, pero facilita el pago de una parte importante al aplazarlo y distribuirlo en el tiempo.
- Los vehículos térmicos son más sensibles a las fluctuaciones del precio de los combustibles, dado que el coste operativo de estos representa una mayor proporción frente al coste total que en el caso de los vehículos eléctricos.
- Actualmente el vehículo eléctrico se halla prácticamente a la par frente al vehículo térmico de gasolina en términos económicos, al ser tan sólo un 1% más costoso según las estimaciones realizadas, que en función de los parámetros escogidos podría variar el coste.
- Los parámetros escogidos para la comparación son relativos al uso de los vehículos en territorio español peninsular, pudiendo variar dichos parámetros en las islas o en otros países, así, por ejemplo, en países de la Unión Europea donde la gasolina alcanza de media 1.55 €/litro frente a los 1.45 €/litro utilizado en muestra comparativa y además la energía eléctrica puede ser hasta un 30% más barata (0.1995 €/kWh frente a 0.1437 €/kWh) el vehículo eléctrico aventaja en términos económicos al térmico a gasolina en hasta un 10%.

## **5. Formas de recarga. Propuesta y estudio de modelo comercial para la recarga de vehículos eléctricos.**

### **5.1. La recarga de la batería del vehículo eléctrico. Modos, tipos y sistemas de recarga actuales.**

Para la recarga de las baterías de los vehículos eléctricos en la actualidad el método más extendido es el de recarga directamente de la red a través de algún tipo de conexión (puntos de recarga) establecida para ello. Normalmente estos pueden clasificarse en función de su localización (privado, público), del tipo de recarga según su potencia, según el protocolo de comunicación entre el punto de recarga y el vehículo (modo) y la compatibilidad del conector.

#### **Tipos de recarga.**

Normalmente se conoce por tipo de recarga a las diferentes posibilidades en cuanto a potencia eléctrica disponible para la recarga de la batería. Así, existen principalmente 3 tipos de carga: lenta, semirápida y rápida. Existe además un cuarto tipo, la recarga ultrarápida, únicamente en uso por Tesla.

- Recarga lenta (o convencional): se trata por lo general de recarga monofásica con unos niveles de tensión y corriente similares a los de la vivienda, unos 230V y 16A, lo que supone una potencia nominal máxima de 3.7kW. Ello conlleva:
  - Recarga lenta: como su nombre indica, la capacidad máxima teórica de carga sería de 3.7kW a la hora, lo que para el tamaño de las baterías de coche actuales supone entre 6 y 8 horas.
  - Picos de tensión bajos: uno de los posibles problemas de la generalización del automóvil eléctrico es el hecho de que de conectar el parque de automóviles a la red de forma simultánea conllevaría un gran pico de potencia en el consumo de energía eléctrica. Con este tipo de recarga ese pico de potencia es el mínimo posible.
  - La recarga lenta aumenta la duración de las baterías: es posible que la recarga lenta sea la que afecta en menor medida la vida útil de la batería.
- Recarga semirápida: la recarga semirápida utiliza el doble de amperaje (32A), dando con ello una potencia máxima de recarga de entre 3.7kW y hasta los 22kW, aproximadamente el doble:
  - Recarga más rápida: el doble de potencia de carga que la recarga lenta significa la mitad de tiempo de carga.
  - La recarga semirápida no afecta a la vida útil de la batería.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Recarga rápida: recarga a más de 22kW, normalmente hasta 50kW en corriente continua:
  - La recarga rápida utiliza una mayor corriente energética, consiguiendo reducir el tiempo de carga en gran medida.
  - Utiliza corriente continua en lugar de corriente alterna, cargando directamente la batería.
  - Los elementos necesarios tanto a nivel de vehículo (cargador) como a nivel de red (toma, creación de punto específico) son costosos por la alta exigencia a la que se ven sometidos.
- Recarga ultrarápida: consiste en una carga con mayor potencia aún que la rápida, del orden de hasta 120kW, en muchos casos experimental con la excepción hecha de Tesla Motors, que la usa para su Model S.

## Modos de recarga.

Los modos de carga dependen de los protocolos de comunicación entre el vehículo y el punto de carga, así, existen 4 modos fundamentales.

- Modo 1: toma tipo Schuko o enchufe convencional, existente en todas las viviendas, cuyas características dependen únicamente de la red del lugar donde se halle. La conexión es directa y el cargador del vehículo se encarga de transformar la corriente alterna a corriente continua para la recarga de las baterías.
- Modo 2: de forma similar al modo 1 se realiza a través de una toma tipo Schuko o convencional, pero en este caso existe un cierto grado de comunicación entre la toma y el vehículo, dado que la carga no se realiza de forma directa si no a través de un conector con sistema de seguridad integrado. Utiliza una intensidad de carga normalmente de 16 Amperios aunque puede ser limitado (caso de EEUU).
- Modo 3: el modo de recarga 3 es el más indicado para vehículos eléctricos. En este modo, existe una “caja” de conexión propia para el vehículo eléctrico con esa única función. Incorpora sistemas de seguridad y dependiendo del modelo puede contar con sistemas de retraso y programación de la carga telemáticos. En este modo de recarga entra el tipo de conector de cada fabricante, así, dependiendo de este es posible que el punto no sea apto para todos los vehículos.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- Modo 4: es el modo de recarga rápida, utiliza corriente continua que recarga de forma directa las baterías. No es un tipo de conexión común, sino específica de los puntos de recarga rápidos. No es viable para viviendas o vías públicas.

## Modos de carga (IEC - 61851-1)

Modo	Salida	Conector específico para VE	Tipo carga	Corriente máxima	Protecciones	Características especiales
Modo 1		No	Lenta en CA	16 A por fase (3,7 kW - 11 kW)	La instalación requiere de protección diferencial y magnetotérmica	Conexión del VE a la red de CA utilizando tomas de corriente normalizadas
Modo 2		No	Lenta en CA	32 A por fase (3,7 kW - 22 kW)	La instalación requiere de protección diferencial y magnetotérmica	Cable especial con dispositivo electrónico intermedio con función de piloto de control y protecciones
Modo 3		Sí	Lenta o semi-rápida Monofásica o trifásica	Según conector utilizado	Incluidas en la infraestructura especial para VE	Conexión del VE a la red de alimentación de CA utilizando un equipo específico (SAVE)
Modo 4		Sí	En CC	Según cargador	Instaladas en la infraestructura	Conexión del VE utilizando un cargador externo fijo

Tabla 5.1: diferentes modos de carga del vehículo eléctrico. Fuente: Circutor.

### Conectores.

Los conectores son elementos fundamentales en la recarga del vehículo eléctrico y de ellos depende en muchas ocasiones el modo y el tipo de recarga que es posible llevar a cabo. Algunas asociaciones, como la SAE (Society of Automotive Engineers) están trabajando de cara a su estandarización, pues es posible que cada modelo de vehículo eléctrico tenga diferentes conectores para diferentes modos de carga y en un punto de recarga no sea posible conectar más de un modelo. Así, recientemente la ACEA (European Automobiles Manufacturer Association) y la SAE llegaron a un acuerdo para adoptar un conector para recarga combinada estándar, pero no han conseguido sumar a los fabricantes franceses (Renault, fundamentalmente) y japoneses (estándar CHAdeMO).

- Conector tipo Schuko o convencional: responde al estándar CEE7/4 tipo F y es compatible con las tomas de corriente europeas, soporta 16A (carga lenta) y no es posible comunicación alguna entre el vehículo y la toma.
- SAE J1772 o Tipo 1, es el estándar norteamericano específico para vehículos eléctricos y posee comunicación entre el vehículo y la red. Tiene 5 bornes: dos para corriente, una toma de tierra y otros dos para comunicación. Puede ser de dos niveles en función de la corriente que pase por el, siendo nivel 1 hasta 16 amperios para recarga lenta y nivel 2 hasta 80 amperios para recarga rápida.
- Conector Mennekes o Tipo 2, conector alemán de tipo industrial con 7 bornes, los tres para las fases, neutro, tierra y dos para comunicación, aunque admite tanto la opción monofásica (16A y recarga lenta) como la trifásica (63A y recarga rápida).

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

- Conector combinado (CCS) o único, propuesto por SAE y ACEA como solución única, tiene 5 bornes, admite comunicación y es posible usarlo tanto para carga rápida como lenta.
- Conector SCAME, fundamentalmente utilizado por los constructores franceses, puede tener 5 o siete bornes en función de que sea usado con corriente monofásica o trifásica. También posee comunicación pero únicamente admite recarga lenta o semirápida (32A), en ningún caso rápida.
- CHAdeMO: es el conector estándar de los fabricantes japoneses, está pensado para recarga rápida en corriente continua, posee hasta diez bornes, comunicación y acepta hasta 200A para recargas ultrarápidas.

## Tipos de conectores





Tipo conector	Nº pins	Tensión máxima	Corriente máxima	Normativas	Características especiales
CA	 <b>1</b> 5 (L1, L2/N, PE, CP, CS)	250 V <sub>c.a.</sub> Monofásica	32 A monofásica (hasta 7,2 kW)	IEC 62196-2	Regulación SAE J1772
	 <b>2</b> 7 (L1, L2, L3, N, PE, CP, PP)	500 V <sub>c.a.</sub> Trifásica 250 V <sub>c.a.</sub> Monofásica	63 A trifásica (hasta 43 kW) 70 A monofásica	IEC 62196-2	Un solo tipo para carga monofásica o trifásica
	 <b>3</b> 4, 5 o 7 según modelo (L1, L2, L3, N, PE, CP, PP)	500 V <sub>c.a.</sub> Trifásica 250 V <sub>c.a.</sub> Monofásica	16 / 32 A monofásica 32 A trifásica (hasta 22 kW)	IEC 62196-2	Tipos diferentes según nivel de potencia
CC	 <b>4</b> 9 (2 Potencia, 7 de señal)	500 V <sub>c.c.</sub>	120 A <sub>c.c.</sub>	IEC 62196-1 UL 2551	Carga rápida en CC Conforme JEVS G105 Tipo CHAdeMO

Tabla 5.2: tipos de conectores más usados en la recarga de vehículos eléctricos. Fuente: Circutor.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## Posibilidades de uso de la red con el modelo actual.

Una de las ventajas fundamentales del sistema de recarga del vehículo eléctrico es la posibilidad de crear una red amplia que permite su uso en prácticamente cualquier lugar, desde lugares públicos hasta viviendas unifamiliares, aunque como todo sistema tiene sus ventajas y sus inconvenientes.



Figura 5.1: diferentes tipos y ubicaciones de puestos de recarga para el vehículo eléctrico. Fuente: Circutor.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **Ventajas del modelo actual.**

Entre las principales ventajas del sistema de recarga del vehículo eléctrico podemos citar:

- Alta flexibilidad geográfica: allí donde se encuentre una red doméstica es posible instalar un punto de recarga, pudiendo ser cada uno propietario de su propio punto. Dependiendo de las características del punto serán necesarios distintos tipos de conectores y protecciones.
- Red de generación y distribución completas: en la mayoría de países desarrollados existe una completa red de generación de energía eléctrica y de transporte y distribución de la misma, pudiendo llevar los puntos de recarga a cualquier lugar.
- Independencia de la red: no es estrictamente necesario estar conectado a la red, dado que es posible instalar un punto de recarga en el mismo lugar donde se genera la energía, siendo posible hacerlo en cualquier propiedad con estas características (instalaciones fotovoltaicas particulares).
- Sencillez y fiabilidad: se trata únicamente de tomas de corriente, no requieren ningún tipo de maquinaria y en los casos más sencillos (Modo1) tampoco requiere de sistemas especiales de protección o comunicación, lo cual redundaría en un coste contenido.
- Flexibilidad en la modalidad de carga: pudiendo elegir los modos y los tipos, carga rápida o lenta, existe amplia variabilidad para satisfacer todas las necesidades de recarga.
- Posibilidad de realizar cargas rápidas: en algunos modelos y con los estándares de conexión adecuados es posible realizar cargas rápidas ( $>50\text{kW}$ ) que permiten en esos casos recargas del 80% de la batería partiendo desde 0 en menos de 30 minutos.

## **Desventajas del modelo actual.**

Por otro lado, el modelo actual del sistema de recarga tiene una serie de inconvenientes que han limitado su implantación:

- Baja demanda o “círculo cerrado”: una baja demanda del vehículo eléctrico condiciona una escasa demanda de puntos de recarga, además, dicha demanda puede ser baja y estar a la vez muy distribuida, haciendo del punto de recarga una inversión difícilmente amortizable. Una escasa red de recarga dificulta la adopción del vehículo eléctrico de forma masiva, con lo que nos encontramos en un bucle de difícil solución.
- Estaciones de carga lenta:
  - Escasa potencia de carga: en muchos casos la potencia disponible para la recarga es escasa ( $<4\text{kW}$ ) lo que provoca, en los modelos actuales, tiempos de recarga de hasta 8 horas para obtener menos de 200km de autonomía.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Estaciones de carga rápida:
  - No son útiles para todos los modelos actualmente, al menos mientras no se llegue a una cierta estandarización de los modelos de conector. A pesar de que ese camino parece haberse iniciado (SAE y ACEA), todavía parece lejos de alcanzar el nivel requerido.
  - Las estaciones de carga rápida son costosas dado que requieren de estándares de seguridad eléctricos más elevados.
  - Dada su alta demanda de potencia, provocan “picos” de potencia eléctrica en la red, de forma que si su uso se generaliza pueden requerir de un aumento de potencia en la red eléctrica costoso para un uso puntual.

Debido a lo comentado, el desarrollo de una red de recarga eléctrica hasta la fecha ha sido escaso y no se espera un gran salto en el crecimiento de dicha red en el futuro inmediato, a pesar de que existen multitud de iniciativas de carácter nacional o regional para facilitar su implementación. Existe lo comentado como “círculo cerrado”, a menor número de vehículos eléctricos menor demanda de puntos de recarga, lo que a su vez supone uno de los principales hándicaps del vehículo eléctrico para su adopción de forma masiva, así, es necesario romper dicho círculo, fundamentalmente por el lado de la inversión en infraestructura, pero como hemos comentado hasta la fecha el desarrollo de dicha infraestructura ha sido más bien escaso dada la dificultad para su amortización.

Por otro lado, las dificultades de carácter técnico, tales como la escasa autonomía de los vehículos eléctricos actualmente en el mercado unido a la escasa capacidad de la mayoría de las fuentes de recarga lenta juegan un papel fundamental también para la adopción del vehículo eléctrico. Escasa autonomía unido a tiempos de recarga lentos conlleva dificultades para poder cumplir con las necesidades de un usuario habitual.

Finalmente, el coste de implantación de sistemas de recarga en Modo 4, de alta potencia no se justifica en la actualidad debido al escaso número de vehículos que pueden adoptar este tipo de carga.

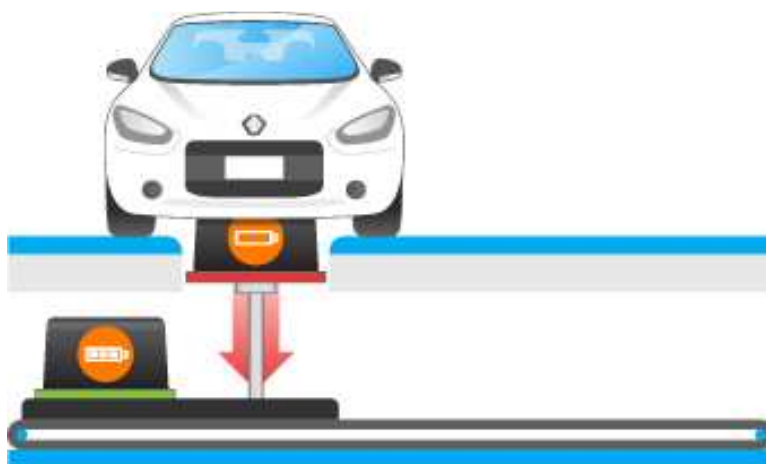
Por tanto, costes de desarrollo de la infraestructura, escasa autonomía y tiempos de carga son los factores fundamentales que limitan la adopción del vehículo eléctrico en grandes volúmenes.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## **5.2. El intercambio de baterías. Concepto y antecedentes.**

### **5.2.1. El concepto.**



*Figura 5.2: esquema del funcionamiento del intercambio de baterías. Fuente: Diariomotor.*

Debido a las dificultades que encuentra el vehículo eléctrico para su implantación y comentadas en el apartado anterior, recientemente han surgido otras alternativas para superar dichas dificultades, la principal de las cuales se basa en el intercambio de baterías del vehículo. Este tipo de alternativa para la recarga enfrenta de forma directa la mayoría de los problemas que posee la recarga convencional, así:

- El tiempo de cambio de batería se reduce a apenas unos minutos, por lo general a tiempos similares a los que se tarda en repostar un vehículo térmico.
- La carga de la batería es posible realizarla en modo lento con una infraestructura adecuada en seguridad y control, con un coste inferior a la infraestructura necesaria para la carga rápida.
- Permite llevar a cabo una carga lenta en condiciones controladas óptimas para alargar la vida de la batería.
- No provoca “picos” de consumo en la red. Dado que la carga se puede programar para realizarla en momentos de menor consumo.
- La energía eléctrica resulta más asequible, al ser gran consumidor y poder programar el horario de la carga se puede aprovechar de tarifas más baratas.
- Sólo hace falta un protocolo de comunicación (un único Modo) entre la batería y el sistema de carga.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- No supone un cambio tan importante de paradigma para el consumidor puesto que es fácilmente asociable a un repostaje convencional.

Pero por contra también atrae sus propios inconvenientes:

- El coste de la instalación es superior a cualquier poste de recarga eléctrica, aunque puede satisfacer a más usuarios.
- Requiere de un mayor coste en la adquisición de baterías (mayor número de baterías simultáneas), que será repercutido sobre el usuario final.
- A nivel de vehículos:
  - Requiere de una estandarización del tipo de baterías en cuanto a dimensiones y formas de anclaje si quiere ser usado por distintos tipos de vehículos.
  - El diseño del vehículo ha de contemplar la posibilidad de extraer la batería de forma automática desde su propia concepción, es muy difícil añadir dicha característica a posteriori.

### 5.2.2. Antecedentes.

#### **BetterPlace.**

Existe un antecedente previo del sistema de cambio de baterías como solución de recarga para vehículos eléctricos, la empresa BetterPlace. BetterPlace fue una compañía estadounidense que comenzó a operar en Diciembre de 2008 en Tel Aviv, aunque su primera estación operativa para el cambio de baterías no lo estaría hasta mediados de 2012 y la compañía presentó la solicitud de liquidación en el estado de Israel en Mayo de 2013.

En el modelo de negocio de BetterPlace sería la propia compañía la que ostentaría la propiedad de las baterías, mientras los clientes pagarían una cuota mensual en función de los kilómetros recorridos para tener acceso a la infraestructura de cambio de baterías.



*Figura 5.3: un modelo experimental de BetterPlace situado sobre el foso de una estación mientras el autómata se aproxima para la sustitución de la batería.*



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Técnicamente el sistema consiste en estaciones de servicio similares a las utilizadas actualmente para los vehículos térmicos convencionales en cuanto a apariencia y uso. El vehículo se sitúa sobre el foso y se detiene, mientras un autómata retira entonces la batería descargada y la sustituye por una batería completamente cargada.




*Figura 5.4: esquema del almacén de carga de una instalación de cambio de batería.*

En la imagen anterior podemos observar el esquema de funcionamiento de una estación proyectada por BetterPlace: el vehículo transparente en la parte inferior es el vehículo en uso del servicio. En el centro de la isla encontramos la zona de almacenamiento y carga de baterías dónde son depositadas o extraídas por el autómata.

La compañía tenía previsto en un principio dotar de una infraestructura de hasta 35 estaciones de cambio de baterías al estado de Israel, país desértico en gran parte que no posee reservas de petróleo y que además tiene malas relaciones con sus vecinos árabes, principales productores del mismo. La idea tenía pues, un sentido razonable, pero fracasó fundamentalmente por que se sobre estimó la respuesta del mercado a la propuesta y se incurrió en unas inversiones iniciales muy elevadas que no fueron cubiertas por la demanda del mercado.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

<b>BETTER PLACE, INC. AND SUBSIDIARIES</b> 		
Consolidated Statements of Operations Years ended December 31, 2012 and 2011 (In thousands)		
	2012	2011
Sales (note 7)	\$ 6,976	—
Cost of goods sold	6,300	—
Gross profit	676	—
Operating expenses:		
Sales and marketing	39,421	54,057
Research and development	58,076	75,450
General and administrative	38,441	35,258
Operations	59,840	35,642
Restructuring and impairment (note 8)	190,818	—
Total operating expenses	386,596	200,407
Loss from operations	(385,920)	(200,407)
Finance income (note 11)	(4,501)	3,114
Mark-to-market gain on derivative instruments (notes 11 and 17)	—	34,848
Interest expense (return to preferred stockholders) (notes 11 and 16)	(67,947)	(49,014)
Net finance cost	(72,448)	(11,052)
Loss before income tax	(458,368)	(211,459)
Income tax (expense) benefit (note 12)	(1,080)	68
Net loss	(459,448)	(211,391)
Net loss (income) attributable to noncontrolling interests	5,839	(1,310)
Net loss attributable to Better Place, Inc. stockholders	\$ (453,609)	(212,701)

**Figura 5.5: situación financiera de BetterPlace a finales de 2012. Fuente: PrivCo.**

En la tabla anterior podemos observar un balance consolidado en el que se refleja la escasa magnitud de sus ingresos frente a sus desproporcionados gastos iniciales<sup>19</sup>. BetterPlace estuvo sobre capacitada desde su comienzo, pues tan sólo alcanzó un 1% de las expectativas de ventas que se habían fijado inicialmente (1.000 vehículos cuando la previsión era de 100.000 vehículos). La situación era insostenible y la compañía presentó la solicitud de bancarrota en el estado de Israel en Mayo de 2013.

Las razones detrás de la quiebra de la compañía que motivó su bancarrota fueron:

- Una inversión inicial desproporcionada al mercado existente. En un mercado, el del automóvil eléctrico, prácticamente inexistente, BetterPlace pretendía crear una red de sistemas de intercambio de batería rápidamente (abastecer a un mercado potencial de 3.000.000 de conductores), lo que conlleva una inversión muy elevada. Además, en el modelo de BetterPlace la propia compañía es la propietaria de la batería para ahorrar gastos

<sup>19</sup> BusinessInsider.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

iniciales al usuario, lo que de nuevo conlleva una alta inversión inicial para un mercado inexistente.

- El crecimiento del mercado no fue el esperado. El elevado gasto inicial sólo se justifica si la rapidez de crecimiento del mercado es capaz de generar los ingresos necesarios para amortizar las inversiones. En el caso de BetterPlace esto no fue así, dado que el crecimiento de la demanda tras los primeros dos años fue del 1% del esperado.
- El flujo de caja fue prácticamente nulo en los dos primeros años y los aprovisionamientos de efectivo imputables a los accionistas no podían cubrir el nivel de gasto dada la baja demanda.
- Entre las razones de la baja demanda:
  - Únicamente Renault respondió a los requerimientos para un vehículo eléctrico compatible con el sistema de intercambio de BetterPlace, ofertando únicamente un modelo derivado de un vehículo térmico con limitaciones en cuanto a habitabilidad y uso debido a que había sido necesario incluir un pesado conjunto de baterías restando espacio y empeorando las cualidades dinámicas del mismo.
  - Un precio de partida elevado. Dado que cada uno de dichos vehículos se trataba de una modificación de un vehículo térmico existente y su ritmo de producción escasa, el precio de venta de los mismos fue elevado, hasta un 30% superior al modelo de partida, que también se vendía.
  - Un único modelo para todo el mercado. El hecho de que únicamente un constructor hubiera respondido positivamente a la petición de BetterPlace hizo que únicamente un modelo de vehículo fuera ofertado al mercado, representando una porción minúscula del mismo.
  - El modelo ofertado por BetterPlace creaba un monopolio para el consumidor. Una vez se compraba un vehículo y se firmaba el contrato de suministro con BetterPlace, el usuario no disponía de otra fuente de recarga que las instalaciones de BetterPlace; del mismo modo, ningún otro vehículo eléctrico tenía permitido el repostaje o el intercambio de baterías en las instalaciones de la compañía. Esto creaba una cierta desconfianza al consumidor, dado que veía muy limitadas sus posibilidades de recarga hasta que la red estuviera completa y quedaba a merced de las decisiones de la compañía prestataria del servicio.

De esta forma BetterPlace atacó un segmento muy pequeño de mercado con un único modelo de prestaciones limitadas en comparación con sus homólogos térmicos y a un precio superior a sus principales rivales de ese tipo (+30%). Además, creó un servicio en monopolio que restringía su uso a otros potenciales usuarios de vehículos eléctricos y hasta el completamiento de su red, los usuarios del servicio tendrían una capacidad de recarga limitada. Dadas las limitaciones, la demanda fue muy inferior a las proyecciones iniciales, los ingresos no crecieron al ritmo esperado y la empresa entró en concurso de acreedores al no poder hacer frente a los elevados gastos iniciales en que incurrió.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---



*Figura 5.6: estación tipo de BetterPlace y Renault Fluence ZE saliendo de la misma.*

### **Tesla.**

Aunque todavía es una instalación experimental en fase de construcción, Tesla Motors ha apostado también por el intercambio de baterías, aunque en su caso de forma más destinada a la investigación que a una verdadera alternativa comercial, así, tiene previsto inaugurar su primera estación de cambio de baterías a fines de 2014, aunque el caso de Tesla es un tanto particular dado que no alquila las baterías de sus automóviles, únicamente las vende.

### **5.3. Estudio de viabilidad económica del modelo de intercambio de baterías en régimen de alquiler.**

#### **5.3.1. El modelo escogido. Consideraciones previas.**

##### **El modelo de intercambio de baterías.**

Como se ha visto en apartados anteriores, el vehículo eléctrico enfrenta varios problemas que limitan sus características y reducen su aceptación en el mercado del automóvil. Algunos de los principales problemas son de tipo económico como los elevados precios de la fabricación de baterías y vehículos mientras otros son de tipo técnico, como la escasa autonomía y los problemas (o limitaciones) a la hora de recargar las baterías. Tanto la autonomía como las limitaciones a la hora de recargar suponen el principal impedimento para el vehículo eléctrico y están estrechamente relacionados: una autonomía escasa ( $< 150$  km) no sería problema grave si existiera una red de recarga adecuada y esta fuera capaz de dar una respuesta acorde a las necesidades de movilidad de los potenciales usuarios, pero esto no es posible ni parece que lo vaya a ser en el corto o medio plazo, por lo que se buscan alternativas como el modelo de intercambio de baterías.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

El modelo de cambio de baterías supone la superación de la mayoría de los obstáculos de tipo técnico, dado que permite la recuperación de la autonomía en apenas minutos, sin la necesidad de cambiar sustancialmente el paradigma actual de repostaje de vehículos convencionales, al tardar un tiempo similar y poderse realizar en circunstancias e infraestructuras similares. Además, permite la recarga lenta de las baterías de forma programada, lo que permitiría recargar dichas baterías en horarios valle cuando la demanda es menor, evitando sobrecargas en la red debido a picos de demanda y ahorrando costes, dado que la recarga en horario valle y tarifa industrial (6 Períodos) es sustancialmente más asequible que la tarifa doméstica de último recurso. También podrían usarse energías renovables propias como placas solares o energía eólica en horario nocturno. No es, sin embargo, capaz de solucionar otros problemas de tipo técnico como es el hecho de que la necesaria estandarización para la recarga sería en este caso igualmente necesaria para suponer un ahorro de costos importante.

En el modelo de BetterPlace la propia compañía era la propietaria de todas las baterías en circulación en los modelos que se vendieran bajo su modo de operar, siendo el usuario únicamente propietario del vehículo y pagando una cuota mensual por el servicio. El estudio que aquí se propone es un modelo similar con algunas variaciones:

- La compañía no es propietaria de las baterías, únicamente arrienda al fabricante el número que desee operar en sus instalaciones.
- Las instalaciones no tienen por qué pertenecer a una única compañía, pueden operarse en régimen de concesión, dado que el negocio consiste en la prestación de un servicio, no en la venta de elementos físicos.
- El propietario del vehículo no tiene relación contractual con la compañía prestataria del servicio. Puede acudir al mismo cuando lo desee si lo desea, abonando la tasa correspondiente por el mismo.
- El propietario del vehículo no lo es de las baterías, si no que las obtiene en régimen de alquiler (similar al modelo actual en Renault-Nissan).

La no propiedad por parte de la compañía que explote las instalaciones de las baterías evita la creación de un régimen de monopolio práctico como ocurrió con BetterPlace, que puede ser fuente de controversia, dudas por parte de los potenciales clientes (al disponer únicamente de las instalaciones de una compañía) y problemas con las administraciones reguladoras del mercado. Por otro lado, el hecho de que mediante este sistema cualquier propietario de las instalaciones necesarias puede entrar en el circuito de cambio de baterías sin más que aportar las instalaciones al circuito y el arrendamiento de las baterías para dichas instalaciones facilita el acceso al mercado de potenciales oferentes. Así, la inversión inicial se reduce a construcción y puesta en funcionamiento de las instalaciones necesarias para la prestación del servicio y estas pueden pertenecer a diferentes propietarios.

De forma similar, cuando se llegue a la estandarización de las baterías y se liberen las patentes de las mismas el número de fabricantes de las mismas podrá ser amplio, de forma similar al mercado de las baterías y pilas domésticas actual. De esta forma, el propietario de las instalaciones es libre de contratar el arrendamiento de las baterías con diferentes fabricantes, evitando de nuevo la

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

creación de monopolios. En un caso ideal de mercado maduro y estable sería un modelo similar al actual para las estaciones de servicio.

Cuando una batería alcance el final de su vida útil, su capacidad de carga sea inferior al 75%, esta será retirada de circulación por el fabricante y repuesta por una nueva unidad en la misma estación en que fue detectada.

## El modelo de alquiler de baterías.

Como se pudo ver en capítulos anteriores, uno de los factores determinantes del precio de un vehículo eléctrico para el usuario es la batería, que puede alcanzar aproximadamente un 30% del valor de venta final del vehículo y, particularmente en vehículos de marcas generalistas, supone un sobreprecio excesivo y una importante barrera de cara a su comercialización.

Para paliar este importante hándicap del vehículo eléctrico la compañía Francesa Renault, una de las pioneras en el lanzamiento comercial de vehículos eléctricos, lanzó sus vehículos con las baterías en régimen de alquiler, como medida para abaratar el coste de adquisición. Como se ha podido ver anteriormente, el alquiler de la batería no evita el pago de la misma, pero permite hacerlo de forma continua a lo largo del tiempo, reduciendo así el coste inicial de adquisición del vehículo. En el caso de Renault, el precio mensual de alquiler de las baterías varía en función del kilometraje estimado y de la duración del contrato de la siguiente forma:

		Duración del contrato en meses						
		12	24	36	48	60	72	84
Kilometraje anual	2500	X	X	X	X	79,00 €	79,00 €	79,00 €
	5000	X	X	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €
	7500	X	89,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €
	10000	X	89,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €
	12500	99,00 €	89,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €	79,00 €
	15000	106,00 €	96,00 €	86,00 €	86,00 €	86,00 €	86,00 €	86,00 €
	17500	114,00 €	104,00 €	94,00 €	94,00 €	94,00 €	94,00 €	94,00 €
	20000	122,00 €	112,00 €	102,00 €	102,00 €	102,00 €	102,00 €	102,00 €
	22500	132,00 €	122,00 €	112,00 €	112,00 €	112,00 €	112,00 €	112,00 €
	25000	142,00 €	132,00 €	122,00 €	122,00 €	122,00 €	122,00 €	122,00 €
	27500	152,00 €	142,00 €	132,00 €	132,00 €	132,00 €	132,00 €	132,00 €
	30000	162,00 €	152,00 €	142,00 €	142,00 €	142,00 €	142,00 €	142,00 €
	32500	172,00 €	162,00 €	152,00 €	152,00 €	152,00 €	152,00 €	152,00 €
	35000	182,00 €	172,00 €	162,00 €	162,00 €	162,00 €	162,00 €	162,00 €
	37500	192,00 €	182,00 €	172,00 €	172,00 €	172,00 €	172,00 €	172,00 €
	40000	202,00 €	182,00 €	182,00 €	182,00 €	182,00 €	182,00 €	182,00 €

Tabla 5.3: precios oficiales del alquiler de baterías para Renault ZOE en Europa.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Sin embargo Renault no ofrece (aún) la batería en propiedad como si hacen algunos de sus competidores como Nissan o Tesla, aunque la presión del mercado le ha llevado a adoptar también esta posibilidad en países como Noruega y probablemente es una oferta que alcanzará al total del mercado europeo. La razón detrás del deseo de algunos clientes de obtener las baterías en propiedad reside en el hecho de que existen quienes pueden optar por comprarlas en primer lugar, y en segundo en el hecho de que la dependencia del vehículo eléctrico de las baterías es total, dado que no existen aún en el mercado baterías a la venta para su sustitución, de forma que un contrato de alquiler puede dejar al comprador del vehículo sin la batería en caso de litigio con su propietario, resultando en un vehículo inservible.

Desde el punto de vista del modelo propuesto para el intercambio de baterías no tiene sentido la adquisición por parte del propietario de las baterías, dado que no es posible entrar de esta forma en el circuito de intercambio de baterías.

## Consideraciones previas.

Para el estudio del modelo propuesto y su análisis de viabilidad económica se toman en primer lugar una serie de condiciones previas:

- El dimensionamiento de la instalación es similar a una estación de servicio actual con un servicio de alrededor de 3.000.000 de litros de carburante anuales. El horario de apertura será de 8 a 22 horas.
- Se estima que en dicha instalación ha lugar para 200 baterías.
- Se estima la demanda de forma constante a lo largo de las horas del día con especial aprovechamiento del horario nocturno o valle para la recarga, en una tarifa de 6 periodos. (ver anexo)
- Para el estudio de impacto económico sobre los clientes y para determinar el precio de arrendamiento de baterías de la instalación se estima que de media los conductores en España recorren 12.500 kilómetros al año.<sup>20</sup>
- Se supone que la carga a realizar sobre las baterías depositadas en la estación va a ser completa, de 22 kWh, a pesar de que en la realidad esto no vaya a ser así nunca, dado que difícilmente el usuario acudirá a la estación sin ninguna capacidad. El objeto de aceptarlo así es el hecho de que es imposible determinar una cantidad mínima a partir de la cual los usuarios van a acudir al servicio. Además, la energía sobrante en cada batería no es necesario reponerla y por tanto le resulta gratuita a la estación.
- No se va a tomar en cuenta la posible pérdida de capacidad con el tiempo de la batería (nunca a niveles inferiores al 80%) dado que la rotación de las mismas hace imposible determinar un estado medio de conservación.

---

<sup>20</sup> Estudio del año 2012 de seguros.es para las compañías aseguradoras cifra la media anual en 12.200 km.



# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## 5.3.2. Estimación de inversiones y gastos requeridos para la puesta en marcha y operación de la instalación de intercambio de baterías.

### **Inversiones a realizar.**

Dado que en la actualidad no existe ninguna instalación de este tipo operativa a nivel mundial, se hace muy difícil realizar una estimación precisa aproximada del coste de una instalación de este tipo, no obstante la instalación reúne una serie de características muy similares a una estación de servicio convencional con algunas diferencias, de forma que tomaremos los costes de inversión de estas como referencia aproximada. Así:

- En 2009, Shai Agassi, CEO de BetterPlace<sup>21</sup> dijo en una entrevista que cada una de sus estaciones suponía una inversión de alrededor de 500.000 \$ (**362.000 €**).
- Existen propuestas de proyectos para la instalación de estaciones de servicio completas por alrededor de **400.000 €**.
- Existen franquicias disponibles de estaciones de servicio “low cost” con necesidades de inversión de **290.000 €** completas.
- En portales de traspaso de negocios existen ofertas públicas de traspaso de estaciones de servicio completas en funcionamiento entre **350.000 €** y **3.000.000 €**.

En el caso actual vamos a optar por una instalación similar a una estación de servicio completa con servicios accesorios (tienda de proximidad y túnel de lavado). A la vista de lo anterior se estima un precio de **1.000.000 €** repartido de la siguiente manera<sup>22</sup>:

- Construcción del edificio principal: 300.000 €.
- Tren de lavado: 240.000 €.
- Construcción y equipamiento tienda: 180.000 €
- Maquinaria de almacenamiento y carga de baterías: 250.000 €.
- Mobiliario general y señalización: 30.000 €.

---

<sup>21</sup> BusinessInsider, 21 April 2009.

<sup>22</sup> PFC: Ampliación de las instalaciones de un supermercado, Aida Moya Turbica, 2003.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Las amortizaciones se llevarán a cabo anualmente de acuerdo a la siguiente tabla:

Concepto	% anual	Capital anual
Instalación prpal.	5	15.000,00 €
Tienda	5	9.000,00 €
Mobiliario	10	3.000,00 €
Maquinaria	6	15.000,00 €
Túnel de lavado	6	14.400,00 €
<b>TOTAL</b>		<b>56.400,00 €</b>

*Tabla 5.4:* tabla de amortización de la inversiones.

### Gastos corrientes.

Existen una serie de gastos necesarios para poner en marcha la instalación y asegurar su correcto funcionamiento:

- Personal.
- Compras de materias primas.
- Compra de material para la tienda.
- Gastos de mantenimiento.
- Gastos de gestión medioambiental.
- Servicios profesionales.
- Consumos generales: agua, luz, comunicaciones.
- Seguros.
- Tributos.
- Material de oficina.
- Suministros informáticos.
- Limpieza.
- Consumibles.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Se ha realizado una estimación de todos los gastos anteriores por similitud con una estación de servicio convencional de la compañía Zoilo Ríos<sup>23</sup>:

Concepto	Cantidad
Compras tienda	53.200,00 €
Mermas	1.000,00 €
Mantenimiento	12.000,00 €
Gestion Medioambiental	1.100,00 €
Servicios profesionales	2.500,00 €
Publicidad/Promociones	1.500,00 €
Agua	6.000,00 €
Electricidad(usos comunes)	12.000,00 €
Teléfono	2.000,00 €
Comunicaciones	1.000,00 €
Arrendamientos terreno	72.000,00 €
Seguros	8.000,00 €
Comisiones bancarias	8.000,00 €
Amortizaciones	56.400,00 €
Tributos	1.000,00 €
Personal	101.000,00 €
Material de oficina	600,00 €
Suministros informáticos	2.000,00 €
Limpieza	600,00 €
Consumibles	1.500,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>343.400,00 €</b>

Tabla 5.5: estimación de gastos corrientes de la instalación propuesta para el cambio de baterías.

---

<sup>23</sup> Cortesía de la compañía.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## Gastos operativos

Por gastos operativos entendemos los gastos que será necesario cubrir para que las instalaciones puedan trabajar con su principal fuente de ingresos, el intercambio de baterías. Por ello, tenemos dos conceptos fundamentales, el arrendamiento de la batería y el coste de la electricidad consumida.

### Alquiler de las baterías.

Las baterías serán arrendadas por el propietario de la instalación al fabricante. El precio de arrendamiento se calcula mediante la tabla de alquiler de baterías que ofrece Renault, para un recorrido de 12.500 kilómetros anuales a la máxima duración posible, dado que el contrato de arrendamiento es indefinido. Esto da un precio de **79 €/mes** y garantiza por parte del fabricante la batería por 5 años o 100.000 kilómetros.

Dado que en el modelo la instalación dispondrá de 200 baterías para recarga, el coste del alquiler de las mismas asciende a **15.800 €** impuestos incluidos. El coste total anual por este concepto es de **189.600 €**.

### Recarga de la batería. Estimación del coste de la energía consumida. Demanda.

La recarga de las baterías se va a llevar a cabo mediante slots de carga individuales según el Modo de carga 3 con una potencia de entre 3.7 y 22kW, lo que nos arroja un tiempo de carga por batería de entre 1 y 6 horas. Se utilizará una potencia de 7.3kW para realizar la recarga en 3 horas. No se tienen en cuenta pérdidas posibles que puedan conllevar más tiempo al representar estas menos de un 10%, de forma que contrarresta la carga mínima con que el usuario acudirá a la estación.

La energía eléctrica se va a calcular mediante la tarifa 6Períodos (6.2 en este caso) dado que se dispone del tiempo en horario nocturno para la recarga y es posible la programación horaria (en Modo 3) de la carga, resultando de este modo más económico.

La estimación de la demanda se realiza mediante comparación con una estación de servicio como la expresada anteriormente. Suponemos que el total de cambios a realizar el día de máxima afluencia es de 700 cambios, siguiendo un patrón de consumo similar al de dicha estación de servicio:

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

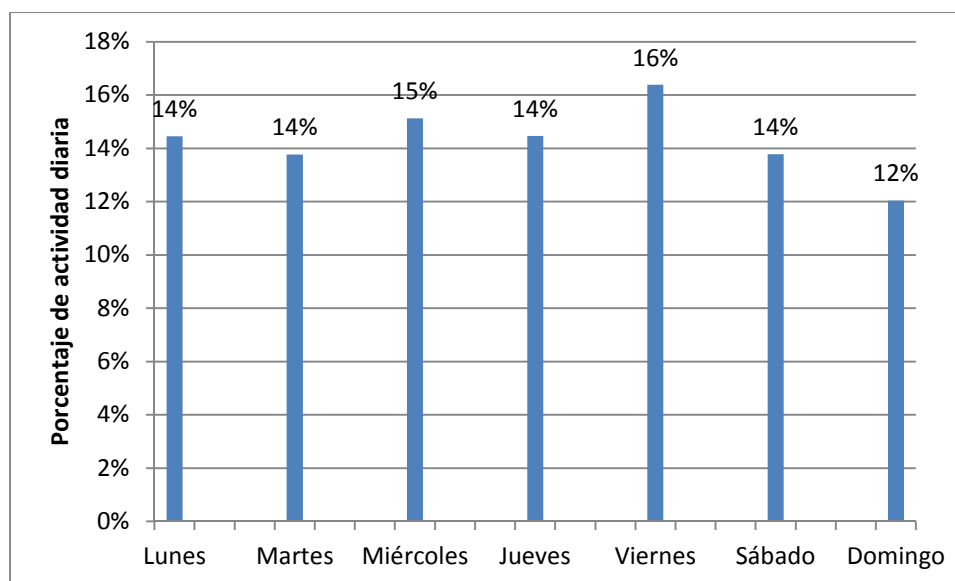


Figura 5.7: patrón de repostaje semanal de los usuarios de la estación de servicio escogida como modelo. Fuente: Zoilo Ríos.

Suponemos igualmente el día de mayor afluencia el viernes con un total de 700 cambios de batería, número similar al de operaciones realizadas en la estación de servicio, lo que nos deja una media de **611** cambios diarios, 360 días al año, 221.760 cambios anuales. Hemos supuesto una distribución uniforme de la demanda, de forma que se realizarán un total de 44 intercambios por hora.

Aunque lo ideal sería realizar la recarga en horario nocturno, en previsión de que la demanda pudiera variar se contratará potencia en todos los periodos tarifarios y se iniciará la carga de 40 baterías por hora según se ha estimado para compensar la demanda (ver anexo I).

Teniendo en cuenta la demanda estimada y, considerando la tarifa 6.2, con un consumo total de **4.878.720 kWh**, el precio total a pagar en concepto de energía eléctrica al año asciende a **446.784,97 €**.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Coste total peajes de potencia	59.252,70 €
Coste total electricidad consumida	246.113,19 €
Coste total energía	305.365,89 €
Recargo 15%	351.170,77 €
Impuesto elec. (x1,05808x4,864%)	18.073,01
<b>TOTAL</b>	<b>369.243,78 €</b>
IVA (21%)	77.541,19 €
<b>TOTAL FINAL</b>	<b>446.784,97 €</b>
Consumo total (kWh)	4.878.720,00
Precio medio (kWh)	0,09158
	€

*Tabla 5.6: consumo anual de electricidad.*

Los gastos operativos relativos por unidad (en este caso el kWh) decrecen a medida que aumentan de forma global, por ello, a mayor instalación y mayor consumo de electricidad los gastos operativos son mayores pero el precio por unidad se reduce, pudiendo presentar un mayor margen operativo.

Finalmente, los gastos totales operativos anuales ascienden a un total de **636.384,97 €** al sumar los gastos derivados del arrendamiento de las baterías a los producidos por el consumo eléctrico.

### Resumen gastos corrientes y operativos.

Tabla resumen con los principales gastos a cubrir para el resultado de la estación:

Total corrientes	343.400,00 €
Total operativos	636.384,97 €
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>979.784,97 €</b>

*Tabla 5.7: resumen de los gastos comunes anuales para el funcionamiento de la instalación.*

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

### 5.3.3. Estimación de ingresos de la estación de intercambio de baterías.

#### Otros ingresos de explotación.

Otros ingresos de explotación se refiere a ingresos provenientes de otras fuentes distintas a la actividad principal. En este caso dichos ingresos provienen del túnel de lavado de automóviles y de la tienda y se toma como estimación de los mismos los ingresos de la misma estación de servicio que ha servido anteriormente para el análisis de los gastos corrientes.

Concepto	Cantidad
Ingresos tienda	76.000,00 €
Ingresos túnel lavado	13.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>89.000,00 €</b>

*Tabla 5.8: estimación de los ingresos netos anuales procedentes de los servicios auxiliares de la estación de servicio.*

#### Ingresos operativos.

Una vez es conocido el nivel de gasto se va a estimar el ingreso operativo necesario para su igualación y en cada uno de los dos supuestos casos de inversión, para la amortización de la misma en un plazo de 10 años.

Concepto	Cantidad
Total corrientes	343.400,00 €
Total operativos	636.384,97 €
<b>TOTAL Gastos</b>	<b>979.784,97 €</b>
Ingresos tienda	76.000,00 €
Ingresos túnel lavado	13.000,00 €
<b>TOTAL Ingresos</b>	<b>89.000,00 €</b>
<b>Diferencia</b>	<b>890.784,97 €</b>

*Tabla 5.9: ingresos netos anuales necesarios para equilibrar la cuenta de resultados.*



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Por tanto, son necesarios **890.784,97 €** de ingresos netos operativos para equilibrar la cuenta de resultados anual y su obtención se realiza mediante el intercambio de baterías con los usuarios, según las estimaciones, 616 intercambios diarios de media, 360 días al año, contabilizando un total de 221.760 operaciones, así:

$$\frac{890.784,97}{221.760} = 4.0168 \text{ €/operación}$$

### 5.3.4. Cuenta de resultados.

<u>A) OPERACIONES CONTINUADAS</u>	<u>Fecha</u>
<b>1. Importe neto de la cifra de negocios</b>	
a) Ventas	897.818,09
b) Prestaciones de servicios	89.000,00
<b>2. Variación de existencias de productos terminados y en curso de fabricación.</b>	0,00
<b>3. Trabajos efectuados por la empresa para el inmovilizado</b>	0,00
<b>4. Aprovisionamientos</b>	
a) Consumo de mercaderías	-189.600,00
b) Consumo de materias primas y otras materias consumibles	-56.300,00
<b>5. Otros ingresos de explotación</b>	
<b>6. Gastos de personal</b>	
a) Sueldos, salarios y asimilados	-101.000,00
<b>7. Otros gastos de explotación</b>	
a) Servicios exteriores	-582.518,09
b) Tributos	-1.000,00
<b>8. Amortizaciones del ejercicio</b>	-56.400,00
<b>9. Imputación de subvenciones de inmovilizado no financiero y otras</b>	0,00
<b>10. Excesos de provisiones</b>	0,00
<b>11. Deterioro y resultado por enajenaciones del inmovilizado</b>	0,00
<b>12.- Resultados excepcionales y diferencias negativas en combinaciones de negocio</b>	0,00
<b>A.1) RESULTADO DE EXPLOTACIÓN</b>	<b>0,00</b>
<b>13. Ingresos financieros</b>	
<b>14.- Gastos financieros</b>	0,00
<b>15.- Variación de valor razonable en instrumentos financieros</b>	0,00
<b>16.- Diferencias de cambio</b>	0,00

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

<b>17.- Deterioro y resultado por enajenaciones de instrumentos financieros</b>	
<b>A.2) RESULTADO FINANCIERO</b>	<b>0,00</b>
<b>A.3) RESULTADO ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>0,00</b>
<b>19. Impuesto sobre beneficios</b>	0,00
<b>A.4) RESULTADO DEL EJERCICIO PROCEDENTE DE OPERACIONES CONTINUADAS</b>	0,00
<b>A.6) RESULTADO DEL EJERCICIO</b>	<b>0,00</b>

En la tabla anterior podemos observar como quedaría la cuenta de resultados anual de la instalación. Es de notar que se ha decidido obtener el beneficio operativo mínimo necesario para equilibrar las cuentas, no obteniendo beneficios netos.

### **5.4. Impacto sobre los posibles usuarios del servicio.**

En el siguiente apartado se va a estudiar el número de usuarios que dicha instalación puede adoptar como máximo y el impacto que el uso del sistema de recarga por intercambio de baterías propuesto puede tener sobre la economía de los usuarios.

Para ello se va a comparar la situación derivada del uso del sistema de intercambio de baterías con los vehículos eléctrico y gasolina del capítulo cuarto.

#### **5.4.1. Usuarios potenciales. Utilidad del servicio.**

La dependencia del vehículo eléctrico respecto a sus fuentes de recarga es mayor debido a la inferior autonomía del mismo, así, necesita pasar más tiempo recargando energía en los puntos de recarga que sus homólogos térmicos, aun incluyendo el hecho de recargar a la misma velocidad que los vehículos térmicos en estaciones como la propuesta.

Si se toma al conductor medio español que realiza 12.000 kilómetros anuales, y suponiendo que únicamente utiliza el sistema de recarga mediante intercambio de baterías, dada la autonomía del vehículo en estudio, el Renault ZOE, de 150 kilómetros (inferior a la homologada) se puede afirmar que requerirá de 80 intercambios de baterías. Si además se supone un caso ideal en el que los intercambios se realizan de forma constante y uniformemente distribuida en fechas y horas por todos los conductores, y suponiendo los 221.760 cambios de batería que técnicamente la instalación es capaz de realizar de forma anual, es posible concluir que dicha estación puede satisfacer las necesidades completas de abastecimiento de baterías para **2.772** usuarios.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

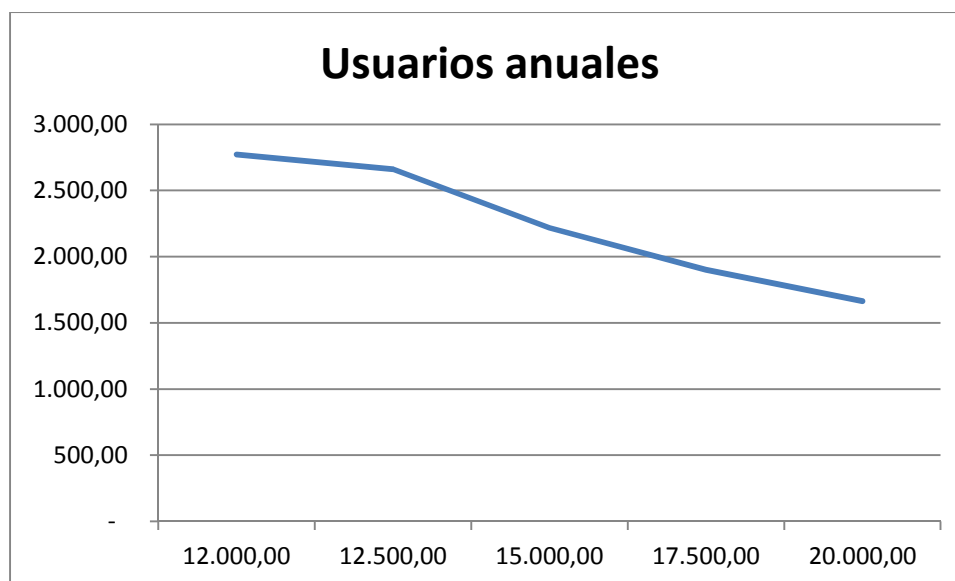


Figura 5.8: número de usuarios atendidos anualmente por la instalación en función del kilometraje que realicen.

No obstante, hay que tener en cuenta que se plantea el modelo de intercambio de baterías como una alternativa a la recarga actual cuando esta no sea viable o atractiva y que de existir otras instalaciones alternativas, el número de usuarios a quienes pueda ser útil la instalación puede ser mucho mayor.

### **5.4.1. Análisis comparativo del coste para los usuarios de la recarga por intercambio de baterías.**

El precio mínimo neto al que se ha establecido en el aparatado anterior que es necesario abonar el intercambio de batería es de 4,0168 €, a lo que sumado el IVA (21%) nos da un total bruto a pagar por el usuario de 4.8603 € cada vez que haga uso del servicio.

Se van a tomar los datos del capítulo cuarto, con algunas diferencias debidas a que en este caso se realiza una estimación anual de los costes operativos en lugar de analizar todo el ciclo de vida, tales como el hecho de que el gasto en mantenimiento se prorratea por kilómetro en función del kilometraje recorrido anualmente. Igualmente no se toma en cuenta las necesidades de amortización de la compra del vehículo. Los datos relativos a precios de la gasolina se han obtenido del boletín petrolero de la Unión Europea y son referidos a gasolina 95.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

Tomando entonces los datos para un kilometraje anual de 12.000km:

Gasto operativo								
PRECIO	Consumo	Total gasolina	Eléctrico	Diferencia	Intercambio	Diferencia	% Eléctrico	% Intercambio
1,43	1.086,80	1.568,20	1.659,12	- 90,92	1.699,90	- 131,70	<b>106%</b>	<b>108%</b>
1,44	1.094,40	1.575,80	1.659,12	- 83,32	1.699,90	- 124,10	<b>105%</b>	<b>108%</b>
1,45	1.102,00	1.583,40	1.659,12	- 75,72	1.699,90	- 116,50	<b>105%</b>	<b>107%</b>
1,46	1.109,60	1.591,00	1.659,12	- 68,12	1.699,90	- 108,90	<b>104%</b>	<b>107%</b>
1,47	1.117,20	1.598,60	1.659,12	- 60,52	1.699,90	- 101,30	<b>104%</b>	<b>106%</b>
1,48	1.124,80	1.606,20	1.659,12	- 52,92	1.699,90	- 93,70	<b>103%</b>	<b>106%</b>
1,49	1.132,40	1.613,80	1.659,12	- 45,32	1.699,90	- 86,10	<b>103%</b>	<b>105%</b>
1,50	1.140,00	1.621,40	1.659,12	- 37,72	1.699,90	- 78,50	<b>102%</b>	<b>105%</b>
1,51	1.147,60	1.629,00	1.659,12	- 30,12	1.699,90	- 70,90	<b>102%</b>	<b>104%</b>
1,52	1.155,20	1.636,60	1.659,12	- 22,52	1.699,90	- 63,30	<b>101%</b>	<b>104%</b>
1,53	1.162,80	1.644,20	1.659,12	- 14,92	1.699,90	- 55,70	<b>101%</b>	<b>103%</b>
1,54	1.170,40	1.651,80	1.659,12	- 7,32	1.699,90	- 48,10	<b>100%</b>	<b>103%</b>
1,55	1.178,00	1.659,40	1.659,12	0,28	1.699,90	- 40,50	<b>100%</b>	<b>102%</b>
1,56	1.185,60	1.667,00	1.659,12	7,88	1.699,90	- 32,90	<b>100%</b>	<b>102%</b>

*Tabla 5.10: comparativa del coste de operación de un Renault Clío 1.2 gasolina frente a un Renault ZOE Life, para diferentes precios de la gasolina y 12.000 kilómetros anuales.*

En la tabla anterior es posible observar como para un kilometraje de 12.000 kilómetros anuales y con el precio de la gasolina entre 1.43 y 1.56 €/litro (precio medio europeo<sup>24</sup>) el coche de gasolina es más competitivo frente al vehículo eléctrico tanto en su modalidad de recarga actual como con el intercambio de baterías. Esto se debe fundamentalmente en que a menor kilometraje es más difícil amortizar el coste añadido que suponen las baterías con la diferencia entre el consumo eléctrico y de gasolina.

<sup>24</sup> Boletín petrolero UE, gasolina 95.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

## Influencia del kilometraje recorrido anualmente en la competitividad del servicio.

Gasto operativo									
Kilometraje	PRECIO	Consumo	Total gasolina	Eléctrico	Diferencia	Intercambio	Diferencia	% Eléctrico	% Intercambio
12.000	1,45	1.057,92	1.539,32	1.659,12	119,80	1.699,90	160,58	<b>108%</b>	<b>110%</b>
12.500	1,45	1.102,00	1.603,46	1.688,75	85,29	1.731,23	127,77	<b>105%</b>	<b>108%</b>
15.000	1,45	1.322,40	1.924,15	1.920,90	3,25	1.971,88	47,73	<b>100%</b>	<b>102%</b>
17.500	1,45	1.542,80	2.244,84	2.165,05	79,79	2.224,53	20,31	<b>96%</b>	<b>99%</b>
20.000	1,45	1.763,20	2.565,53	2.409,20	156,33	2.477,17	88,36	<b>94%</b>	<b>97%</b>
22.500	1,45	1.983,60	2.886,23	2.677,35	208,88	2.753,82	132,41	<b>93%</b>	<b>95%</b>

Tabla 5.11: evolución de los costes de operación con el kilometraje anual.

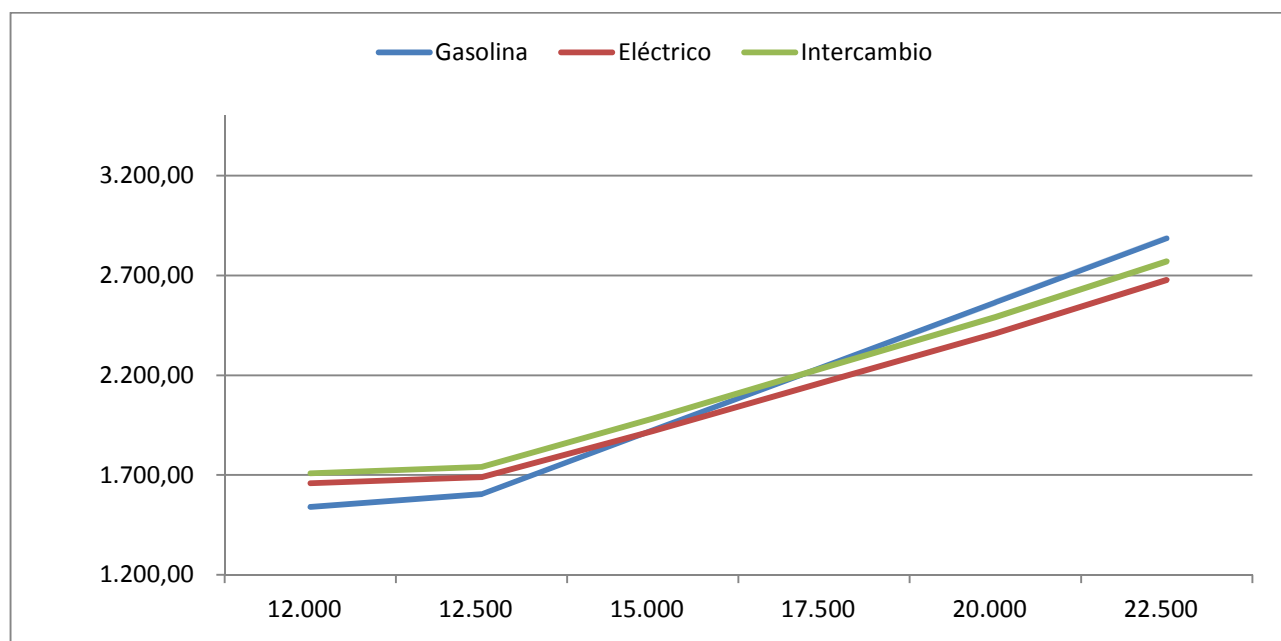


Figura 5.9: comparación de la evolución de los costes de operación con el kilometraje anual recorrido.

En los datos mostrados anteriormente es posible observar como cuanto mayor es el kilometraje anual más ventajoso es el uso del vehículo eléctrico, dado que a partir de los 15.000

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

kilómetros anuales aproximadamente, el gasto de uso del vehículo gasolina pasa a ser mayor, mientras aunque la tendencia es similar en el caso del intercambio de baterías, no es hasta aproximadamente los 17.500 kilómetros anuales en que el coste entre ambos se iguala. Siempre teniendo en cuenta el precio de la gasolina medio en España en 1.45 €/litro y el precio antes fijado como mínimo necesario en el intercambio.

### Influencia del precio de la gasolina en la competitividad del servicio.

Gasto operativo									
Kilometraje	PRECIO	Consumo	Total gasolina	Eléctrico	Diferencia	Intercambio	Diferencia	% Eléctrico	% Intercambio
12500	1,40	1064	1565,46	1688,75	-123,29	1731,23	-165,77	108%	111%
12500	1,45	1102	1603,46	1688,75	-85,29	1731,23	-127,77	105%	108%
12500	1,50	1140	1641,46	1688,75	-47,29	1731,23	-89,77	103%	105%
12500	1,55	1178	1679,46	1688,75	-9,29	1731,23	-51,77	101%	103%
12500	1,60	1216	1717,46	1688,75	28,71	1731,23	-13,77	98%	101%
12500	1,65	1254	1755,46	1688,75	66,71	1731,23	24,23	96%	99%
12500	1,70	1292	1793,46	1688,75	104,71	1731,23	62,23	94%	97%

Tabla 5.12: evolución de los costes de operación con el precio de la gasolina.

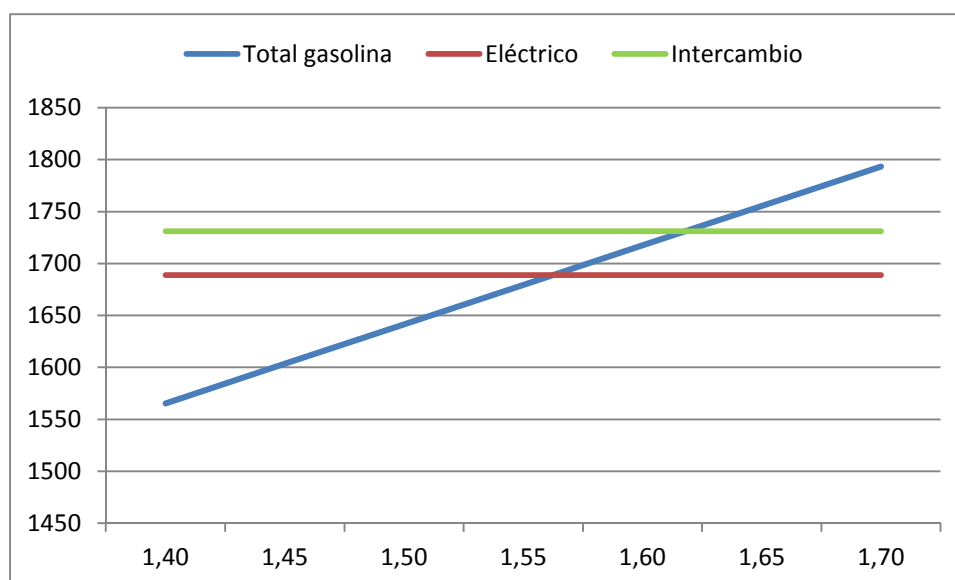


Figura 5.10: comparación de la evolución de los costes de operación con el precio de la gasolina.

A la vista de la tabla y gráfico anteriores es posible comprobar como el precio de la gasolina es el factor más influyente a igualdad de kilometraje recorrido anualmente de cara a la competitividad del servicio estudiado.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

Así, dependiendo del precio a que compute la gasolina el vehículo eléctrico empieza a ser competitivo con este realizando 12.500 kilómetros anuales. A partir de 1.55 €/litro el vehículo eléctrico es más barato de mantener y operar que el vehículo de gasolina, mientras para ver al vehículo eléctrico con recarga mediante el intercambio de baterías al mismo precio que el vehículo de gasolina es necesario un precio de 1.63 €/litro.

Como muestra, a pesar de que el caso de España está todavía un poco alejado en cuanto a kilometraje anual medio recorrido y en cuanto a precios de los rangos óptimos para el desarrollo del vehículo eléctrico, a continuación es posible observar el precio de la gasolina en algunos de los principales países del entorno UE:

País	Precio
Bélgica	1,553
Dinamarca	1,693
Finlandia	1,624
Francia	1,523
Alemania	1,602
Grecia	1,684
Italia	1,737
Holanda	1,741
Portugal	1,580
Suecia	1,625
Reino Unido	1,568
Media	1,630

*Tabla 5.13: precio medio del litro de gasolina 95.*

Por tanto, alrededor del 65% del total de la población de la Unión Europea vive con un precio medio de la gasolina que convierte al vehículo eléctrico en una alternativa viable desde el punto de vista económico frente al vehículo de gasolina, mientras el servicio de intercambio de baterías, pese a no ser una alternativa viable aún en muchos de ellos como principal sistema de recarga de energía para el vehículo eléctrico, sí cobra sentido como infraestructura de apoyo al mismo.

Cabe destacar que en el presente análisis se han calculado los precios en base a la legislación y precios vigentes para la electricidad en España, el tercer país de la UE (tras Chipre e Irlanda) con el precio de la energía eléctrica más cara.

## **5.5. Conclusiones.**

A la vista de los datos aportados y obtenidos a lo largo del capítulo, es posible concluir:

- El método y la red de recarga actual:



## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Actualmente y desde el punto de vista práctico, los métodos de recarga existentes son el mayor hándicap del vehículo eléctrico, particularmente si se tiene en cuenta su escasa autonomía.
- Existen diversos tipos y modos de recarga, en función de las posibilidades de comunicación entre el vehículo y la red y de los protocolos de seguridad.
- Existen así mismo diversos conectores para cada vehículo eléctrico, lo que dificulta la posibilidad de compartir la red de recarga, hasta el punto de que algunos fabricantes desarrollan su propia red para sus vehículos.
- La red actual de recarga del vehículo eléctrico es escasa y está muy repartida, resultando inaccesible para la mayoría de la población.
- La densidad de puntos de recarga de la red es mínima y además es necesario tener en cuenta lo comentado anteriormente: no todos los postes son válidos para todos los vehículos.
- La capacidad de recarga de la mayoría de los postes de la red es escasa. Sus potencias no permiten por lo general realizar la recarga de las baterías en un tiempo razonable, lejos del actual sistema de repostaje de los vehículos térmicos.
- La red de recarga por sus propias características tiene una muy buena flexibilidad a la hora de adaptarse geográficamente a las posibles necesidades de los usuarios, dado que puede establecerse allí donde llegue una red eléctrica.
- El intercambio de baterías, desde el punto de vista técnico:
  - Supone un método que permite grandes similitudes en todos los aspectos con el sistema de repostaje actual para vehículos térmicos.
  - Las instalaciones necesarias para el desarrollo del sistema pueden ser similares a las estaciones de servicio actuales. No requieren del desarrollo de tecnologías novedosas.
- El intercambio de baterías según el método propuesto:
  - Evita el régimen de monopolio que pretendían establecer compañías como BetterPlace, al posibilitar que cualquier agente económico pueda montar una instalación tipo y añadir baterías al circuito de alquiler y recarga.
  - En todo caso, la batería está cubierta por una garantía de capacidad mínima al 75-80%.
  - Conforme avance la estandarización de las baterías en los vehículos eléctricos y las patentes sean liberadas también se acabará con el mercado monopolístico de la fabricación de baterías, resultando un mercado con mayor competencia.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- El régimen de alquiler de baterías evita al usuario la obsolescencia de sus baterías debido a nuevos desarrollos hasta que se alcance un grado de desarrollo estable y se abra el mercado de la fabricación y comercialización de las mismas.
- El modelo propuesto permite al sistema de intercambio de baterías ser un apoyo a la red común actual de recarga eléctrica, sin limitar las formas o modos de recarga en que el usuario quiera o pueda realizarla.
- EL método propuesto no limita al usuario a un único modo de recarga ni obliga contractualmente al uso de unas instalaciones propiedad de un tercero. Únicamente abona una cuota en concepto de uso del servicio.
- El intercambio de baterías según el método propuesto desde el punto de vista económico:
  - No es una alternativa viable como método principal de recarga en sí mismo en todos los países. Los elementos fundamentales que determinan este hecho son :
    - Precio de la gasolina y el gasóleo
    - Precio de la electricidad
    - Precio del alquiler de baterías
  - En función de la variación de los precios de los elementos citados el método propuesto puede convertirse en viable incluso como fuente principal de recarga del vehículo eléctrico.
  - El vehículo eléctrico es más deseable desde el punto de vista económico cuanto mayor sea el kilometraje anual recorrido.
  - La recarga mediante el método propuesto supone en España, en Abril de 2014 aproximadamente un 10% más en el coste operativo del vehículo.
  - No se ha comparado el vehículo diésel, el cual en cualquier caso es entre un 10-15% más económico que el vehículo gasolina a precio constante.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## 6. Conclusiones generales.

Una vez realizado el análisis de las consecuencias derivadas del uso de los combustibles fósiles como principal fuente de energía y como prácticamente única en el caso del transporte, así como la cuantificación de las mismas y el estudio de viabilidad de la alternativa de intercambio de baterías para vehículos eléctricos se han extraído las siguientes conclusiones:

- La conocida como “era del petróleo” toca a su fin. A la vista de todos los datos de producción observados y los estudios de diferentes organismos públicos y privados internacionales, el petróleo como fuente de energía primaria abundante y económica está en declive. El pico de producción petrolera mundial se alcanzó en algún punto alrededor de 2005 o 2006, de forma que la producción de petróleo será cada vez menor y cada vez más costosa, por los costes asociados a la extracción de crudo cada vez en condiciones más difíciles. Ello unido a una creciente demanda provocará un alza de precios en el petróleo todavía por determinar, aunque las peores previsiones la sitúan en un régimen de decrecimiento exponencial inversa.
- La dependencia económica del petróleo y sus derivados en los países desarrollados es muy alta (España tiene una dependencia de alrededor del 76%), un crecimiento exponencial del precio del barril podría hacer colapsar la economía mundial. Podría provocar un alza de precios (inflación) muy elevada e incontrolable debido a la dependencia prácticamente del 100% del sector transporte respecto de los derivados petrolíferos.
- Las consecuencias de tipo ambiental y de salud pública son sobradamente conocidas en sus términos generales por casi todos los ciudadanos en los países desarrollados y es motivo de concienciación actualmente. La contaminación generada por el transporte en el ámbito urbano se estima en alrededor del 75% sobre el total de polución en dicho ámbito, siendo la principal causa de la misma. Igualmente en la mayoría de los indicadores de emisiones el sistema de transporte en un país como España figura como productor de alrededor del 20% del total de dichas emisiones.
- Las consecuencias para la salud de las emisiones en el ámbito humano son devastadoras aunque sus cifras no son conocidas por el gran público por regla general. Los contaminantes atmosféricos urbanos son causantes de forma directa de infecciones respiratorias, de afecciones pulmonares y cardiovasculares, así como cánceres. En Julio de 2013 la OMS ha declarado el humo de escape de los automóviles diésel carcinógeno (que produce cáncer) frente a su anterior denominación (cancerígeno, que puede producir cáncer). La propia OMS estima en 1.300.000 las muertes prematuras a escala mundial como consecuencia DIRECTA de la contaminación atmosférica en aire urbano anualmente.
- Además de las razones propias de la oferta y la demanda el precio del petróleo puede variar en gran medida y mayor rapidez debido a cuestiones políticas. Es, además, una carta política de suma importancia, dado que la mayoría de los países desarrollados o en vías de serlo con economías muy dependientes de esta fuente de energía primaria no son productores y que además la principal decena de países (OPEP) productores de petróleo poseen aproximadamente el 75% de las reservas futuras de dicho material, con lo que su influencia política puede ser muy superior a la importancia real del país en el contexto global.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- Por los mismos motivos existen una serie de lugares geográficos de especial interés pues a través de ellos fluye o se transporta el petróleo y sus derivados, por lo que su control y seguridad pueden ser objeto de conflicto político de diversos países. A lo largo de la historia, principalmente de la última mitad del s.XX han sido diversos los conflictos que han conllevado crisis en el suministro de petróleo al mercado mundial originando problemas económicos de diversa gravedad. El mayor ejemplo de ello quizá sea la denominada crisis del petróleo de 1973, consecuencia del conflicto árabe-israelí.
- Las alternativas actuales en el mercado del transporte personal no son suficientes o tienen grandes limitaciones para sustituir a los vehículos de combustión interna. Los vehículos híbridos únicamente pueden paliar parcialmente todos los efectos causados por el uso de combustibles de origen fósil y en ningún caso eliminarlos por completo, puesto que su objetivo es reducir el consumo de dichos combustibles. Las únicas alternativas reales para ello son los vehículos eléctricos, bien de los llamados de pila de combustible que usan hidrógeno o bien eléctricos por acumulación de la energía en baterías. En ambos casos los problemas que enfrentan son de diversa índole pero suficientes para que su penetración en el mercado sea hasta la fecha muy escasa.
- En el caso de los vehículos eléctricos por pila de combustible enfrentan una total inexistencia de una red de producción, transporte y distribución de hidrógeno, red que debería ser creada desde cero a escala global para hacer de ellos herramientas útiles, cuestión extremadamente costosa tanto en tiempo como en dinero que a día de hoy la convierte en una alternativa poco viable. Por otro lado, los vehículos eléctricos por acumulación de energía en baterías enfrentan otra serie de problemas, a pesar de que la red de generación y transporte de energía eléctrica está desarrollada, la red de recarga de los mismos no lo está en absoluto. Además, los métodos actuales de recarga adolecen de una serie de limitaciones como la lentitud de la recarga y la falta todavía de un elevado grado de estandarización que convierten al vehículo eléctrico en una alternativa de transporte poco apetecible para el mercado.
- El método del intercambio de baterías como forma de recarga tiene una serie de ventajas que elimina parcial o incluso totalmente las desventajas propias del actual método de recarga, si bien es más caro y por tanto menos competitivo frente a las alternativas térmicas, particularmente el diésel. No obstante, puede suponer una alternativa al método actual de recarga para algunos usuarios y complementarse con este, e incluso ser competitivo frente a la opción gasolina en determinados lugares donde los precios de esta y de la electricidad lo permitan.
- La adopción del sistema de intercambio de baterías mediante el método propuesto tiene además una serie de ventajas de cara al mercado al evitar la creación de posibles trust y monopolios que limitaran su implantación y puede permitir una rápida expansión del modelo de negocio. Puede satisfacer en momentos puntuales a los usuarios del vehículo eléctrico y complementar a un precio razonable a los métodos de recarga actuales.

# Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

## 7. Bibliografía.

- (1)- Tecnologías actual y futura de las baterías para vehículos eléctricos. Exide Technologies, 2011.
- (2)- Electric vehicles with a battery switching station. INSEAD, 2012.
- (3)- El coche eléctrico: el futuro del transporte, la energía y el medio ambiente, 2009.
- (4)- Optimal recharging strategy for battery switch stations for electric vehicles in France. MINES ParisTech, 2012.
- (5)- Intelligent electric car charging system. INCA.
- (6)- Feasability Study for the Better Place company's Electric Car Project. 2008.
- (7)- Better Place File for bankruptcy, PrivCO, 2013.
- (8)- UKERC Review of evidence on global oil depletion. UKERC, 2010.
- (9)- Inventarios nacionales de emisiones. Ministerio de medioambiente. 2011.
- (10)- Health effects of vehicle emissions. Australian Transport Research Forum. 2011.
- (11)- Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado. CSIC. 2006.
- (12)- Informe cambio climático y salud. CCEIM. 2012.
- (13)- Informe de la calidad del aire en el estado español. Ecologistas en acción. 2012.
- (14)- Monográfico ciudad y transporte. Fundación Biodiversidad. 2012.
- (15)- Observatorio contaminación atmosférica y salud. DKV Seguros. 2012.
- (16)- Regulatory Impact Analysis for the Stationary Internal Combustion Engine. EPA, 2011.
- (17)- Health effects of transport-related air pollution. WHO, 2011.
- (18)- Evaluation of electric vehicle production and operating costs. CTR, 1999.
- (19)- Cost and performance of EV batteries. Axion, 2012.
- (20)- Informaciones varias. Zoilo Ríos, 2013.
- (21)- Global Lithium Availability. CSS, 2012.
- (22)- La energía en España 2011. Minetur, 2012.

## Análisis de los efectos del uso de los combustibles derivados del petróleo y estudio de viabilidad del modelo de intercambio de baterías para el vehículo eléctrico.

---

- (23)- Publicaciones varias. Tesla, 2011-2013.
- (24)- Battery manufacturing for electric and hybrid vehicles. CSR, 2013.
- (25)- Memorias 2012. ANFAC, 2013.
- (26)- Vehículos eléctricos. INSIA, 2011.
- (27)- Recarga inteligente de vehículos eléctricos. CIRCUTOR, 2013.
- (28)- Curso automóviles eléctricos. UNIZAR verano, 2011.